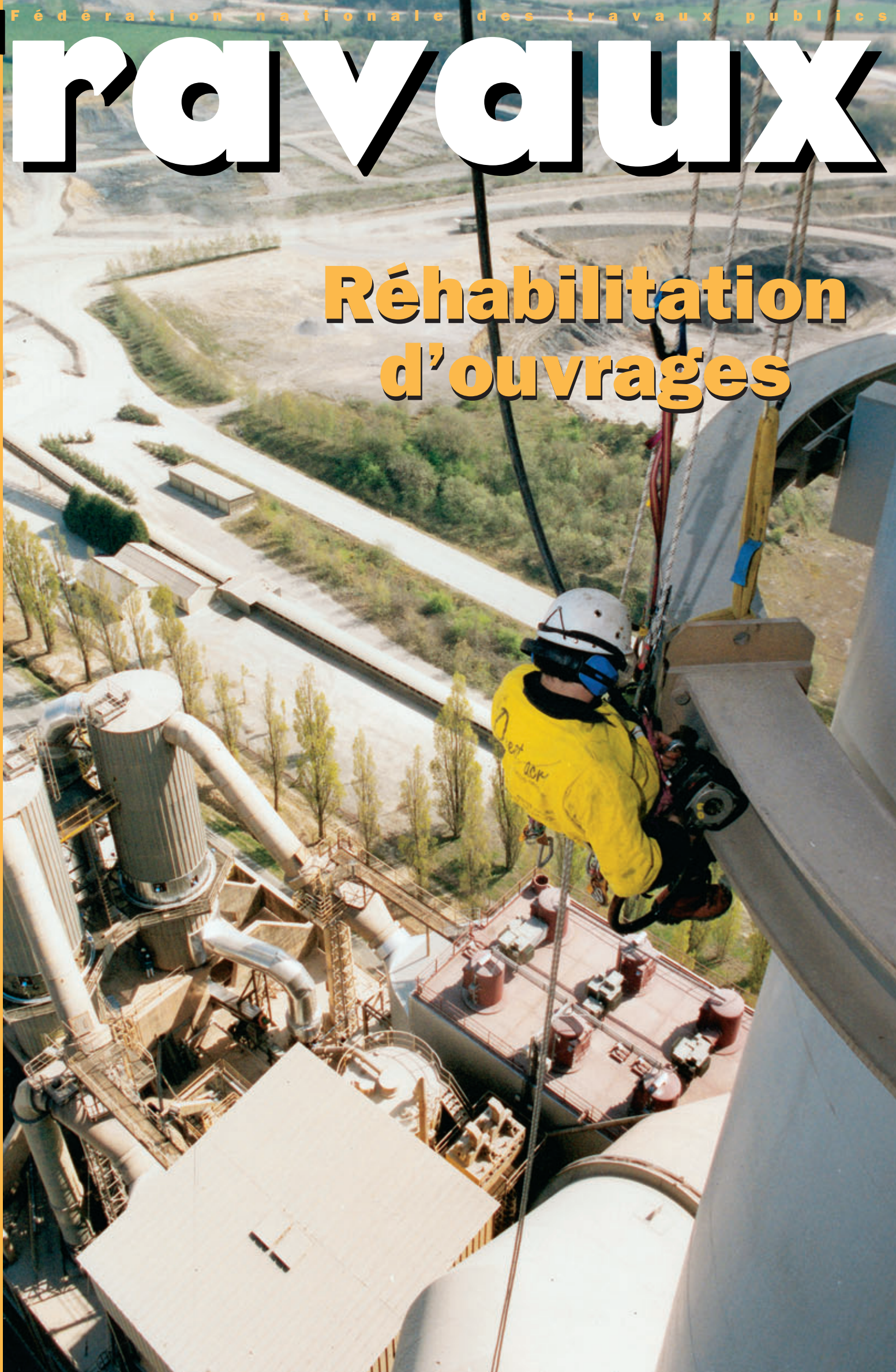


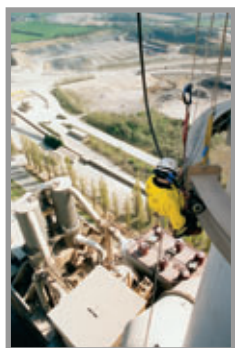
Travaux

n° 767

- Le pont du Théâtre à Strasbourg. Renforcement d'un pont en maçonnerie pour le passage du tramway
- La reconstruction de la passerelle du Faux-Rempart à Strasbourg
 - Restructuration du pont Saint-Jean à Nancy. Ponts métalliques à dalle orthotrope et levage assisté par ordinateur
- La ligne de 400 kV Méry-Vesle. Reconstruction et renforcement après la tempête
 - Chantier de confortement de falaise à Grandville. Travaux d'accès difficile
- Confortement de cinq tunnels SNCF par chemisage en béton projeté RIG. Lignes de Brive à Toulouse via Capdenac et de Castelnauary à Rodez
 - Réparation d'un pont suspendu sur le Tarn. Le pont de Mirepoix-sur-Tarn en Haute-Garonne
- L'élargissement du pont des Eyzies en Dordogne
 - Renforcement et élargissement de deux ouvrages de franchissement sur l'A7

Réhabilitation d'ouvrages





Notre couverture

**Contrôle et renforcement
de cerces métalliques
sur cheminée
site Lafarge Ciments**

© Ouest Acro

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) 0241350995

Fax : (33) 0241350996

E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

MAQUETTE

T2B & H

8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris

Tél. : (33) 0144648420

VENTES ET ABBONNEMENTS

Colette Robert

RGRA

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 0140738005

E mail : revuetravaux@wanadoo.fr

France : 920 FF TTC

Etranger : 1100 FF

Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle

61, bd de Picpus - 75012 Paris

Tél. : (33) 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° 57304

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

12

PRÉFACE

Philippe de Pins

15



◆ Le pont du Théâtre à Strasbourg. Renforcement d'un pont en maçonnerie pour le passage du tramway
- *The Pont du Théâtre in Strasbourg. Strengthening of a masonry bridge to support a tramway*

L. Lebert, A. Giesi, P. Giraud

16



◆ La reconstruction de la passerelle du Faux-Rempart à Strasbourg
- *Reconstruction of the Faux-Rempart footbridge in Strasbourg*

L. Lebert, Fr. Schnarr, D. Jolivald

20



◆ Restructuration du pont Saint-Jean à Nancy. Ponts métalliques à dalle orthotrope et levage assisté par ordinateur
- *Restructuring of Saint-Jean Bridge in Nancy. Steel bridges with orthotropic slab and computer-assisted hoisting*

L. Bavière, Gr. Bignier, A. Fauvelle, Ph. Janny

23



◆ La ligne de 400 kV Méry-Vesle. Reconstruction et renforcement après la tempête
- *The 400-kV Méry-Vesle line. Reconstruction and strengthening after windstorm*

G. Objoie, S. Scotto di Vettimo

27



◆ Chantier de confortement de falaise à Grandville. Travaux d'accès difficile
- *Cliff reinforcement site in Grandville. Difficult worksite access*

L. Boissard

33



Sommaire

septembre 2000

Réhabilitation d'ouvrages

Dans les prochains numéros

Autoroute A 89

International

Environnement

Ponts

Terrassements

Routes

Tunnel

de Toulon

Sols

et fondations

Eau



◆ Confortement de cinq tunnels SNCF par chemisage en béton projeté RIG. Lignes de Brive à Toulouse via Capdenac et de Castelnaudary à Rodez
- *Strengthening of five SNCF (French Railways) tunnels by RIG (Guaranteed Initial Strength) shotcrete lining. Brive to Toulouse line via Capdenac and Castelnaudary to Rodez line*

J.-L. Bonnet, J.-L. Rouquette, A. Coudret

37



◆ Réparation d'un pont suspendu sur le Tarn. Le pont de Mirepoix-sur-Tarn en Haute-Garonne
- *Repair of a suspension bridge over the Tarn. Mirepoix-sur-Tarn bridge in the Haute-Garonne region*

A. Coudret

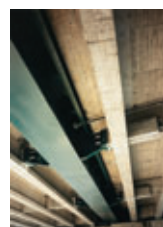
42



◆ L'élargissement du pont des Eyzies en Dordogne
- *Widening of Eyzies Bridge in Dordogne*

A. Spielmann, Fr. Malbouriane, G. Perez

48



◆ Renforcement et élargissement de deux ouvrages de franchissement sur l'A7
- *Strengthening and widening of two structures across the A7 motorway*

H. Rossignol, B. Nicolas, Fr. Tatat

60

économie

65

**répertoire
des fournisseurs**

66

Entretien, réparation, remise en état, renforcement, réhabilitation, sauvegarde du patrimoine, protection de l'environnement... autant de mots évocateurs qui claquent comme un rappel à l'ordre dans notre univers du BTP et plus spécialement encore dans celui des ouvrages d'art tels qu'en témoignent les nombreux articles de ce numéro *Travaux* du mois de septembre 2000.

La réparation : effet de mode ou nouvel eldorado ?

A l'heure où les grands projets d'infrastructure semblent marquer le pas – sans doute, nos dirigeants estiment-ils que la France est aujourd'hui suffisamment équipée par rapport aux autres pays européens ? – nous enregistrons un net regain d'intérêt pour tout ce qui concerne la réhabilitation et l'entretien des ouvrages et des bâtiments. Cela se passe comme si les gardiens de notre patrimoine collectif prenaient soudain conscience de l'héritage qui leur a été confié et du devoir qui leur incombe de l'entretenir pour les générations futures.

"A défaut de construire du neuf, n'hésitons pas à réparer de l'ancien" car nos ouvrages d'art subissent eux aussi l'usure du temps provoquée par la pluie, le vent ou le gel, sont de plus en plus sollicités par l'augmentation du trafic routier et souffrent des lésions causées par les chocs accidentels ou les catastrophes naturelles...

Ainsi, il sera toujours d'actualité d'élargir un tablier ou de le rehausser, de renforcer des vousoirs par de la précontrainte additionnelle ou des poutres par des fibres de carbone, de consolider des piles de ponts par des micropieux, de ragréer de la maçonnerie, de remplacer des joints de chaussée ou des appuis, de modifier des garde-corps ou de refaire une étanchéité de surface...

En tout état de cause, ces multiples interventions ne répondent qu'à un seul objectif : mettre en conformité les ouvrages et garantir leur pérennité pour la sécurité des usagers.

De ce point de vue, le marché de la réparation a de beaux jours devant lui !

La réparation : une alternative (trop souvent) de dernière minute

Politiquement parlant, il est certes plus valorisant pour un élu de construire et d'inaugurer des ouvrages neufs qui marqueront son passage plutôt que d'entretenir, à budget équivalent, un patrimoine vieillissant dont il ignore bien souvent l'état. De même, une réparation est fréquemment perçue comme étant la conséquence directe d'une erreur de conception ou d'une malfaçon dans l'exécution proprement dite.

Vu sous ces deux aspects, l'acte de réparer perd beaucoup en consi-

dération ; aussi, il importe que les mentalités de nos donneurs d'ordres et maîtres d'œuvre évoluent vers plus de réalisme quand on sait qu'aujourd'hui encore, la direction des Routes ne consacre que 500 millions de francs par an à la réhabilitation des ponts là où l'OCDE recommande, depuis 20 ans, un budget annuel de 50 milliards de francs (0,5 % de la valeur à neuf de remplacement) pour l'entretien de notre patrimoine national d'ouvrages de génie civil. Ceci explique sans doute que la réparation du pont d'Aquitaine ait absorbé cette année une bonne part des crédits prévus en 2000 ! Autre point à signaler et non des moindres : l'enquête IQOA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) a révélé que trois ponts sur quatre nécessitaient une intervention plus ou moins urgente. Compte tenu

du nombre de ponts à réparer que cela représente (17 000 environ), pourquoi attendre davantage ?

De même qu'il vaut mieux prévenir que guérir, le fait de réparer un ouvrage, même fortement dégradé, doit être perçu comme une solution alternative, efficace et généralement plus économique qu'une démolition-reconstruction (de l'ordre de 30 %). Là encore, sachons agir à temps.

La réparation : un métier d'art pour des spécialistes

Si construire est un art, réparer en est également un tout aussi remarquable et complexe qui passe par un long cheminement depuis l'auscultation jusqu'au traitement final en passant par le diagnostic et la préconisation.

Pour ce qui concerne les structures en béton, de nombreuses entreprises se sont d'ores et déjà regroupées au sein d'organismes spécialisés tels que l'association "Œil Vif" pour valoriser le métier d'inspection des ouvrages d'art et de génie civil ou le Syndicat National des Spécialistes des Travaux de Réparation et

de Renforcement des Structures (STRRES) pour élaborer ensemble les règles de l'art des différents métiers de la réparation et du renforcement. Il importe, en effet, que le monde de l'entreprise soit moteur dans la résolution des problèmes de vieillissement des ouvrages, dans la mise au point d'outils d'auscultation et dans la recherche de nouvelles techniques de réparation.

La réparation ou le renforcement d'un ouvrage, de quelque nature qu'il soit, ne s'improvise pas.

Il est, en effet, primordial de bien connaître le mode de fonctionnement d'une structure si l'on veut parvenir à un bon diagnostic et à une bonne préconisation pour traiter le mal en profondeur.

Ne pas s'attaquer directement à la cause équivaut à placer un caustère sur une jambe de bois, ce que doit s'interdire tout vrai spécialiste de la réparation.



PHILIPPE DE PINS

**Président
du Syndicat national
des entrepreneurs
spécialistes de
travaux de réparation
et renforcement de
structures – STRRES**

Le pont du Théâtre

Renforcement d'un pont en tramway

Passage obligé de la nouvelle ligne du tramway de l'agglomération strasbourgeoise, le pont du Théâtre, ouvrage en moellons de grès, datant de 1869 devait pour cela être renforcé. La solution retenue, consistant à réaliser une dalle précontrainte sur plots d'appui en béton armé, dans l'épaisseur du tablier existant, a dû subir plusieurs adaptations pour assurer la pérennité de la voûte en grès et tenir compte des modifications apportées à la structure de l'ouvrage depuis sa construction.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Situé entre la place de la République et la place Broglie, le pont du Théâtre, qui permet le franchissement du canal du Faux-Rempart ceinturant par le nord le centre historique de Strasbourg, était le passage obligé de la nouvelle ligne du tramway de l'agglomération strasbourgeoise.

Ce pont, à deux travées, est en fait constitué de deux ouvrages accolés :

- ◆ un ouvrage en maçonnerie de grès, construit en 1869, de 11,50 m de large ;
- ◆ un élargissement, en béton armé sur 5,50 m, réalisé en 1972, les parements de la pile, des culées et du tympan amont étant habillés de moellons de grès.

Le tracé de la ligne B du tramway imposait le passage sur l'ouvrage en grès, d'où la nécessité d'un renforcement de ce dernier. Le GETAS (Groupement d'études pour le tramway de l'agglomération strasbourgeoise), maître d'œuvre de l'opération, avait prévu pour cela la réalisation de plots d'appui en béton armé au droit de la pile et des culées existantes et d'une dalle précontrainte dans l'épaisseur du tablier existant.

Les travaux comprenaient également :

- ◆ la reprise de l'étanchéité de la dalle en béton armé de l'élargissement ;
- ◆ le nettoyage et le rejointoiement des moellons des tympan et de la sous-face ;
- ◆ le remplacement des garde-corps métalliques

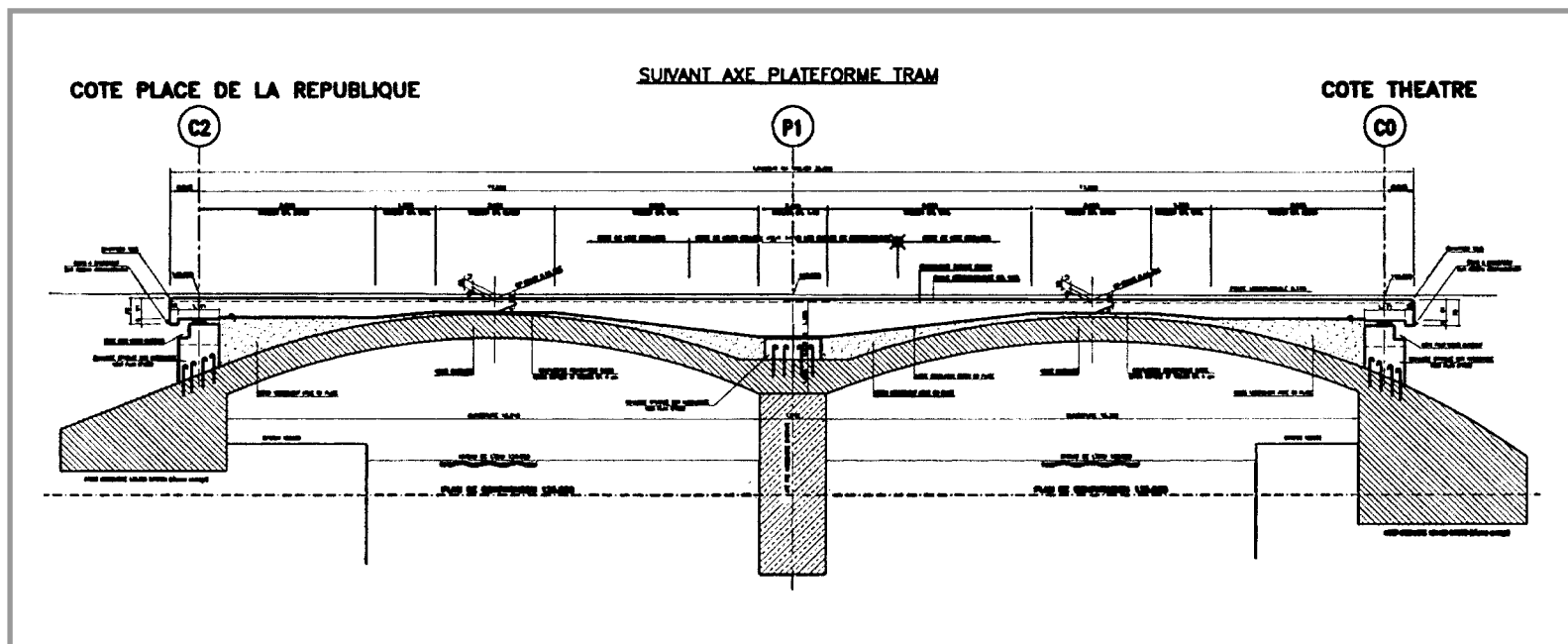
existants par des balustres en grès des Vosges. Le projet initial allait connaître plusieurs adaptations rendues nécessaires par le souci de préserver la voûte en grès existante et la structure du remplissage au-dessus de cette voûte.

■ GÉOMÉTRIE DE LA DALLE PRÉCONTRAÎNTE

Le marché initial prévoyait la réalisation d'une dalle précontrainte d'épaisseur constante de 56 cm. Le profil en long de la ligne de tramway ne pouvant évidemment pas être remonté ponctuellement au droit du pont du Théâtre sans avoir des conséquences importantes sur les abords de l'ouvrage, il fallait que cette dalle se loge dans l'épaisseur du tablier existant, constitué en théorie d'une voûte en moellons de grès d'environ 70 cm d'épaisseur, d'un remplissage en tout-venant et d'une dalle de répartition de 20 cm de béton légèrement armé en surface.

Cela imposait une démolition soignée des moellons de clé de voûte sur le tiers de leur hauteur, avec tous les risques d'effondrement complet de la voûte que cela présentait (il y a quelques années, le service Voirie de la Communauté Urbaine de Strasbourg, gestionnaire de l'ouvrage, avait procédé à l'instrumentation de ce dernier, pour suivre l'évolution de plusieurs fissures dans la voûte en grès).

Figure 1
Coupe longitudinale de l'ouvrage
Longitudinal section of the structure



à Strasbourg maçonnerie pour le passage

L'agence TP Est de GTM Construction, titulaire du marché, avait imaginé lors de l'étude de prix de réaliser cette démolition en effectuant dans un premier temps un sciage longitudinal des moellons de clé de voûte tous les 10 cm, puis de procéder à la démolition de ces bandes ainsi constituées à l'aide d'un petit marteau piqueur.

Cette méthode visant à solliciter le moins possible la voûte en grès ne nous affranchissait néanmoins pas des désordres éventuels existants de celle-ci. De plus, elle supposait que les 45 cm de moellons restants étaient capables de reprendre les efforts de compression de la clé de voûte, ce qui nécessitait une vérification théorique par le calcul, sans aucune garantie sur l'état de santé réel du grès des moellons en question.

Le GETAS a donc demandé à GTM Construction d'étudier des solutions visant à diminuer au maximum l'épaisseur de la dalle précontrainte à la clé pour diminuer au maximum, voire supprimer, la démolition du grès. Ingérop Grand Est, sous-traitant de GTM Construction pour les études d'exécution, a ainsi proposé une dalle à inertie variable qui, moyennant un épaississement de la dalle au droit de la pile centrale, a permis de ramener l'épaisseur à la clé de 56 à 40 cm (figure 1).

De plus, la dalle précontrainte était initialement uniformément recouverte d'une structure de 23 cm constituée des rails sur selles et de dallettes préfabriquées posées sur sable entre chaque rail. Ces 23 cm étant conditionnés par la hauteur des rails, le GETAS a proposé de les positionner au fond d'engraves de 10 cm de profondeur, ce qui a permis de remonter d'autant l'intrados de la dalle précontrainte et donc de limiter la démolition à la clé (figure 2).

Moyennant ces deux adaptations et les 26 cm qu'elles ont permis de gagner, la dalle précontrainte a pu être réalisée dans l'épaisseur du tablier existant sans qu'il soit nécessaire de toucher aux moellons en grès de la clé de voûte.

■ LA DÉMOLITION DU TABLIER EXISTANT

Il restait néanmoins à aménager la place nécessaire à la réalisation des plots d'appui et de la dalle précontrainte.

Pour cela, GTM Construction avait prévu de raboter les enrobés de surface, d'enlever la dalle de répartition de 20 cm de béton armé d'un treillis soudé en surface à l'aide d'une pelle hydraulique et de

terrasser dans le tout-venant de remplissage au-dessus de la voûte en grès.

Or, lors de la démolition complète du pont National, également pour la ligne B du tramway de l'agglomération strasbourgeoise, le tout-venant de remplissage que le GETAS s'attendait à trouver sur la voûte en grès, s'était avéré être du "béton"; des recherches effectuées dans les archives des services Techniques de la Communauté urbaine de Strasbourg ont permis de trouver des rapports d'injection de coulis de ciment effectuée par les Allemands en 1942 sur le pont National, probablement dans le but de le renforcer.

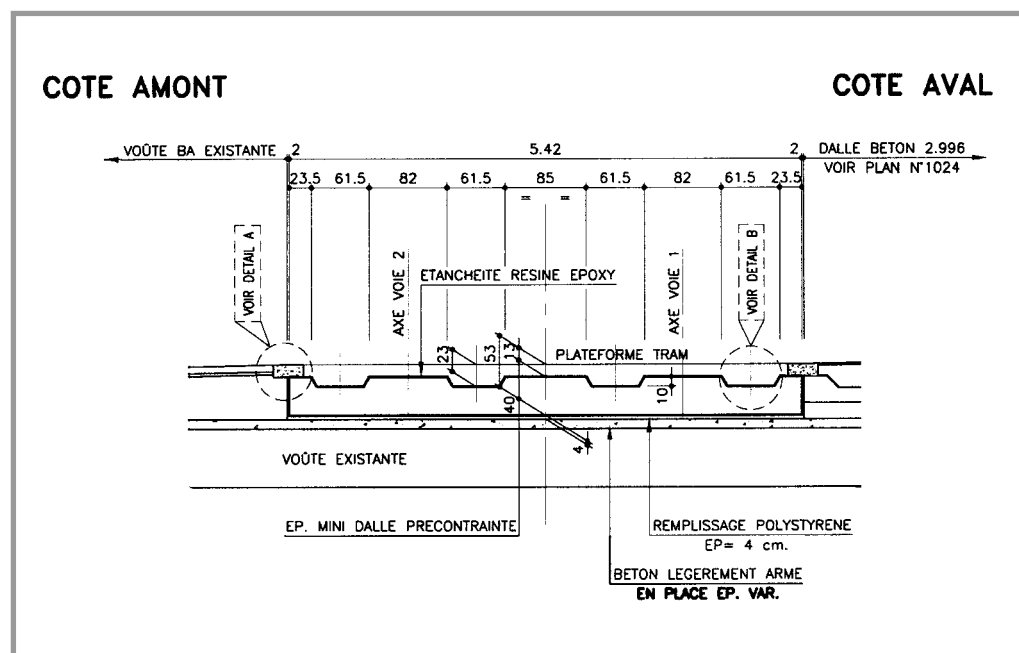


Figure 2
Coupe transversale
avec les engraves pour rails
Cross section
with notching for rails

Soupçonnant qu'il pouvait en être de même sur le pont du Théâtre, le GETAS a fait procéder à des carottages complémentaires dans le tablier qui ont confirmé les doutes du maître d'œuvre : le tout-venant de remplissage du pont du Théâtre avait lui aussi été injecté de coulis de ciment.

Or, si dans le cas du pont National, cela ne changeait guère les données, l'ouvrage devant de toute façon être complètement démolé et reconstruit, il n'en était pas de même pour le pont du Théâtre pour lequel la voûte en grès et les tympans devaient être conservés.

Il convenait donc de revoir complètement le projet de base et ce à la veille de démarrer les travaux, le planning général des travaux de la ligne B du tramway ne pouvant être remis en question.

Il est très vite apparu qu'il était désormais inutile de réaliser une dalle précontrainte sur les 11,50 m

Laurent Lebert
CHEF DE SERVICE
GTM Construction - Agence TP Est



Alain Giesi
DIRECTEUR
DU PROJET TRAMWAY
Compagnie des Transports Strasbourgeois



Patrice Giraud
DIRECTEUR DES ETUDES
Serue Ingénierie



Photo 1
Démolition
par éclateur hydraulique
*Demolition
by hydraulic splitter*



Photo 2
Détail des balustres en grès des Vosges
Detail of Vosges sandstone balusters

correspondant à la largeur totale de l'ouvrage en maçonnerie et qu'on pouvait se limiter aux 5,42 m de la plate-forme tramway.

La structure existante était largement suffisante pour supporter le trottoir aval et la circulation routière en amont, et cela permettait de ne pas toucher aux moellons et aux corniches du tympan aval. Cette diminution de la largeur de la dalle précontrainte a nécessité, pour des raisons d'encombrement aux abouts, le changement du système de précontrainte initialement prévu : on est ainsi passé de câbles de 12T15S à des câbles de 19T15S ; pour les mêmes raisons, et compte tenu de la faiblesse de l'épaisseur de la dalle à la clé (30 cm en fond d'engravure), les caractéristiques du béton de la dalle ont dû être changées, passant d'un B35 à un B40.

Enfin, et surtout, il a fallu repenser complètement la méthode de démolition du tablier existant ; il convenait désormais d'aménager dans le tout-venant injecté le volume nécessaire à la réalisation des plots d'appui et à la dalle précontrainte et ce avec des moyens légers pour limiter au maximum l'impact sur la voûte en grès. GTM Construction a alors proposé une démolition par éclateur hydraulique, la méthodologie étant la suivante :

- ◆ dans un premier temps, un sciage de hauteur variable (pour respecter le profil longitudinal) sur toute la périphérie de la future dalle précontrainte ;

- ◆ ensuite, la réalisation de carottages Ø 200 mm de profondeur variable, à raison de trois unités par profil transversal tous les 2,50 m à 3,00 m ;

- ◆ enfin, éclatement du béton à l'aide de vérins cylindriques placés dans les trous de carottage d'une même file (photo 1) et évacuation à l'avancement des gravats.

Cette méthode était particulièrement adaptée aux circonstances car elle n'apportait aucun effort ni aucune vibration à la maçonnerie en grès conservée ; le seul problème rencontré a été lié au caractère hétérogène de la structure à démolir : si le béton de la dalle de répartition était suffisamment dur pour être éclaté, le tout-venant injecté était quant à lui par endroits trop peu résistant, les vérins s'enfonçant dedans sans provoquer la fissuration nécessaire.

Il a donc fallu parfois effectuer des finitions de démolition au marteau piqueur.

Après réalisation des plots d'appui au droit de la pile centrale et des culées, le coffrage de l'intrados de la dalle précontrainte a été réalisé à l'aide de deux couches de panneaux d'agglomérés de 18 mm posées sur du sable pour la désolidariser de la voûte en grès.

■ L'ASPECT ARCHITECTURAL

Lors de sa construction en 1869, le pont du Théâtre était équipé de balustres en grès des Vosges ; le bombardement de Strasbourg par les Prussiens un an plus tard allait démolir la totalité de ces balustres qui ne furent jamais réparées, mais remplacées, au fil du temps, par des garde-corps métalliques ; le renforcement de l'ouvrage pour le passage du

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Béton B40 du tablier : 120 m³
- Précontrainte 19T15S : 6 tonnes

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Compagnie des Transports Strasbourgeois

Maitre d'œuvre général

GETAS (Groupement d'études pour le tramway de l'agglomération strasbourgeoise)

Maitre d'œuvre particulier

Serue Ingénierie pour les ouvrages d'art

Titulaire du marché

GTM Construction - Agence TP Est

- **Coût de l'ouvrage** : 3 450 000 HT
- **Durée des travaux** : 6 mois

tramway était l'occasion pour le GETAS de lui redonner son aspect originel en remettant des balustres en grès à section carrée (photo 2); de couleur gris clair, ce grès provenait de carrières dans les Vosges du Nord, le principal problème étant d'assurer une homogénéité de teinte des différentes pièces constitutives du garde-corps.

■ CONCLUSION

Malgré ces différentes adaptations, le maître d'œuvre et l'entreprise ont toujours cherché à respecter le budget du marché initial, en équilibrant plus-values consécutives aux sujétions imprévues et économies de quantités par modification de la géométrie. Le décompte définitif a montré, en fin de travaux, que les dépenses avaient été parfaitement contrôlées.



Vue générale de l'ouvrage
General view of the structure

ABSTRACT

The Pont du Théâtre in Strasbourg Strengthening of a masonry bridge to support a tramway

L. Lebert, A. Giesi, P. Giraud

Located on the route of the new tramway line of the city of Strasbourg, the Pont du Théâtre, a quarry sandstone bridge dating back to 1869, had to be strengthened. The adopted solution, consisting in providing a prestressed slab on reinforced concrete support blocks within the thickness of the existing deck, had to undergo several adaptations to ensure the strength of the sandstone arch and take into account modifications made to the structure since its construction.

RESUMEN ESPAÑOL

El Puente del Teatro, en Estrasburgo Consolidación de un puente de obra de fábrica para el paso del tranvía

L. Lebert, A. Giesi y P. Giraud

El Puente del Teatro, precisaba una consolidación debido al paso forzado de la nueva línea del tranvía de la aglomeración urbana de Estrasburgo. Este puente tiene una estructura de mampostería de arenisca, y su construcción se remonta a 1869. La solución adoptada, consistente en un forjado sobre bloques de apoyo de hormigón armado, insertados en el espesor del tablero existente, ha sido objeto de diversas adaptaciones para garantizar la perennidad de la bóveda de arenisca y tener en cuenta las modificaciones introducidas en su estructura desde su construcción.

La reconstruction de du Faux-Rempart à

Construite en 1901, la passerelle piétons-cyclistes du Faux-Rempart à Strasbourg souffrait de graves désordres depuis plusieurs années, ce qui avait conduit la Communauté urbaine de Strasbourg à condamner son accès depuis plus de trois ans.

Après avoir étudié des solutions de confortement, la décision a finalement été prise de la démolir et de la reconstruire à l'identique, le tout sous contrôle de l'architecte des Bâtiments de France, le centre historique de Strasbourg étant classé patrimoine mondial de l'Unesco.

La démolition ayant eu lieu en novembre 1999, à l'occasion d'une interruption de la navigation fluviale, la reconstruction, réalisée par GTM Construction, s'achèvera courant juillet 2000.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

La passerelle du Faux-Rempart enjambe le canal du même nom qui ceinture par le nord le centre historique de Strasbourg. Construction de 1901, elle était fondée sur des pieux en chêne inclinés et prenait appui sur les murs de quai. Sa structure était constituée d'une voûte en béton non armé, dans laquelle étaient aménagées deux ouvertures au droit des culées pour assurer le passage des piétons sur les voies sur berges et six voûtains décoratifs de hauteur variable, le tout étant recouvert de 2 cm de mortier coloré pour imiter des moellons en grès (photo 1).

L'ouvrage présentait depuis plusieurs années de sérieuses fractures consécutives à un tassement des appuis, ce qui avait, il y a plus de trois ans, conduit la Communauté Urbaine de Strasbourg à condamner son accès au public. Après avoir étudié diverses solutions de confortement, la décision a finalement été prise de la démolir et de la reconstruire à l'identique, mais en béton armé cette fois, le tout sous contrôle de l'architecte des Bâtiments de France, le centre historique de Strasbourg étant classé patrimoine mondial de l'Unesco.

En 1999, les travaux ont été confiés à l'Agence TP Est de GTM Construction après trois appels d'offres successifs et diverses adaptations du projet initial rendues nécessaires par des contraintes budgétaires et d'environnement draconiennes. Ils s'achèveront courant juillet 2000, afin que la passerelle puisse être réouverte pendant la saison estivale.

■ LA DÉMOLITION DE LA PASSERELLE EXISTANTE

Le canal du Faux-Rempart est emprunté tout au long de l'année par les bateaux-mouches du port autonome de Strasbourg qui assure les visites guidées de la ville ; en période de pointe, la fréquence de passage est d'un bateau toutes les 20 minutes. Il convenait d'assurer la démolition de la passerelle existante sans interrompre la navigation des bateaux-mouches.

Pour cela, EEG Simecsol, maître d'œuvre de l'opération, avait prévu de mettre en œuvre sous la passerelle un cintre constitué de profilés métalliques prenant appui sur quatre tubes battus dans le lit du canal, le cintre étant utilisé à la fois pour la démolition de la passerelle existante et pour sa reconstruction. Cette solution, qui permettait la démolition sans interruption de la navigation, présentait néanmoins deux inconvénients majeurs :

- ◆ la mise en œuvre du cintre sous la passerelle n'était pas des plus aisées, notamment pour des raisons de sécurité, le service de la Navigation n'autorisant pas le maintien de charges suspendues au-dessus des bateaux-mouches navigant sur le canal ;

- ◆ les efforts apportés par la démolition sur le cintre étaient plus importants que ceux apportés par la reconstruction, ce qui obligeait à surdimensionner le cintre.

Lors des négociations préalables à l'attribution du marché, GTM Construction a pris contact auprès du service de la Navigation de Strasbourg et a ainsi appris qu'une interruption de la navigation sur le canal du Faux-Rempart était programmée pendant une semaine en novembre 1999, afin de permettre des travaux sur les portes d'une écluse située en amont. Le maître d'œuvre a alors demandé aux différentes entreprises qui avaient répondu à l'appel d'offres d'étudier une solution de démolition en une semaine et sans utilisation d'un cintre.

La technique finalement retenue a été celle proposée par GTM Construction et son sous-traitant Cardem Démolition avec le phasage suivant :

- ◆ dépose des garde-corps et des dalles porphyrées de surface et mise en œuvre de protection sur berge avant la période d'interruption de la navigation ;
- ◆ pendant la semaine d'interruption, dégraissage de la passerelle pour ne garder que la voûte à l'aide d'une pelle équipée d'un BRH et évacuation des gravats par camions, puis démolition de la voûte dans le canal, reprise des gravats par une pelle sur ponton et évacuation de ceux-ci par barge.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Micropieux : 186 ml
- Béton : 115 m³
- Mortier coloré : 180 m²

Photo 1
La passerelle existante avant sa démolition
The existing footbridge before its demolition



la passerelle Strasbourg

Les derniers gravats ont été sortis le samedi 27 novembre 1999, permettant la reprise de la navigation comme prévu le dimanche 28 novembre.

■ LE PRINCIPE DE FONDATIONS

Le maître d'œuvre avait prévu de fonder la nouvelle passerelle sur trois pieux Ø 800 de 10,75 m de long réalisés sous chaque culée à l'intérieur d'un batardeau en palplanches.

Cette solution présentait deux inconvénients majeurs :

- ◆ la présence de pieux bois inclinés sous les culées existantes dont le nombre et l'implantation étaient inconnus rendait difficile la mise en œuvre des tubes de forage des pieux;

- ◆ l'accès côté rive gauche à la passerelle se fait par la rue Pierre Bucher, impasse particulièrement étroite dans laquelle il n'était pas aisé de placer la grue de forage, l'accès à l'impasse étant, de plus, compliqué par les travaux en cours avenue de la Marseillaise pour la nouvelle ligne de tramway de l'agglomération strasbourgeoise.

GTM Construction a alors proposé de remplacer les trois pieux Ø 800 par six micropieux de type IV IRS, de diamètre 152 mm et de longueur 15,50 m, répartis sur deux lignes inclinées de 22° et 38° par rapport à la verticale, pour reprendre les efforts horizontaux.

La solution de micropieux présentait les avantages suivants :

- ◆ le niveau de la démolition des semelles de la passerelle existante a été limité au strict nécessaire, le forage des micropieux étant réalisé à travers la maçonnerie non démolie, ce qui a permis de s'affranchir, hors période de crues, des problèmes de venues d'eau et de limiter les batardeaux de palplanches initialement prévus, seules étant maintenues les palplanches battues par le service de la Navigation de Strasbourg dans le cadre des travaux d'aménagement des berges;

- ◆ elle s'affranchit des problèmes liés à la présence des pieux bois, même si ces derniers (photo 2) ont singulièrement augmenté les durées de forage initialement prévues par Solétanche Bachy (il a ainsi fallu plus de 2 heures pour passer au travers d'un pieu bois sur 80 cm de hauteur!);

- ◆ elle diminuait considérablement les nuisances aux riverains et s'affranchissait des problèmes d'accès, les micropieux étant réalisés par une foreuse légère du type SM305 depuis les voies sur berge.

Seules les crues de l'Ill et donc du canal ont régulièrement interrompu le chantier au mois de janvier en inondant les voies sur berges.

■ LA RÉALISATION DE LA NOUVELLE PASSERELLE

Après la démolition de la passerelle existante, quatre tubes métalliques de Ø 609 mm et de 12,50 m de longueur ont été mis en œuvre dans le lit du canal; après forage dans les tubes, ils ont été bétonnés



jusqu'au niveau du fond du canal pour pouvoir être récupérés en fin de chantier.

Le cintre, posé sur ces quatre tubes et sur les nouvelles semelles, est constitué de :

- ◆ deux HEB 400 transversaux en tête de tubes, posés sur des décintreurs de 40 tonnes;
- ◆ quatre HEM 280 longitudinaux par travée;
- ◆ des HEA 120 transversaux tous les 50 cm.

La sous-face de la voûte a été coffrée à l'aide de vaux en aggloméré de 25 mm cloués sur des planches de 27 mm, puis habillés d'un contreplaqué de 18 mm. Sur la peau coffrante, des baguettes ont été clouées pour imiter celles qui seront ensuite incorporées dans les 2 cm du mortier coloré des faces verticales (photo 3).

Laurent Lebert



CHEF DE SERVICE
GTM Construction - Agence TP Est

Frédéric Schnarr



INGÉNIEUR EN CHEF
SECTION OA
Communauté Urbaine
de Strasbourg

Daniel Jolivalt

CHARGÉ D'AFFAIRES
EEG Simecsol



Photo 2
Les têtes de micropieux
au milieu des pieux bois existants

*Micropile heads
amidst the existing wooden piles*

Photo 3
Détail du cintre
et du coffrage de la sous-face
*Detail of underside shuttering
and centring*

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Communauté Urbaine de Strasbourg

Maître d'œuvre

EEG - Simecsol

Titulaire du marché

GTM Construction - Agence TP Est

Coût de l'ouvrage : 2 475 000 HT

Durée des travaux : 10 mois

Le bétonnage a été réalisé en deux phases :

- ◆ dans un premier temps, la voûte elle-même jusqu'au niveau inférieur des voûtains ;
- ◆ puis les élévations jusqu'au niveau de l'extrados.

Les tympans cintrés des ouvertures sur berge et des voûtains ont été coffrés par des blocs de polystyrène ayant sur les rives extérieures des parties chanfreinées pour permettre la réalisation ultérieure de moulures décoratives en mortier coloré (photo 4).

Tous les coffrages des surfaces destinées à être revêtues de mortier coloré ont été recouverts d'un polystyrène de 2 cm dans lequel ont été insérées des spirales inox ; après décoffrage et enlèvement du polystyrène, ces spirales saillantes assurent une adhérence optimale du mortier.



Photo 4
Coffrage
des tympans
cintrés
Shuttering
of centred
tympan



Vue générale
de l'ouvrage
reconstruit
General view
of reconstructed
structure

■ L'ASPECT ARCHITECTURAL

Les garde-corps architecturaux ainsi que les deux portiques d'origine ont été déposés avant la démolition de la passerelle. Après restauration et peinture, ils ont été reposés sur la nouvelle passerelle. Les deux portiques sont éclairés par des luminaires électriques pour remplacer les lanternes à gaz d'origine. De même, des luminaires ont été incorporés dans chaque voûtain.

Le mortier coloré a été mis en œuvre par la société Jehonatan ; il a nécessité un calepinage soigné des baguettes pour reconstituer le moellonnage et les moulures d'angles d'origine.

ABSTRACT

Reconstruction of the Faux-Rempart footbridge in Strasbourg

L. Lebert, Fr. Schnarr, D. Jolival

Built in 1901, the pedestrian-cyclist footbridge had been suffering for several years, leading the Urban Community of Strasbourg to close off access to it more than three years earlier.

After having studied strengthening solutions, the decision was finally made to demolish and reconstruct an identical structure, all under the control of the Architect of the Buildings of France, the historic centre of Strasbourg being a UNESCO-classified world heritage. The demolition took place in November 1999 when river traffic was interrupted. Reconstruction, by GTM Construction, was scheduled for completion during the month of July 2000.

RESUMEN ESPAÑOL

La reconstrucción de la pasarela del Faux-Rempart, en Estrasburgo

L. Lebert, Fr. Schnarr y D. Jolival

La pasarela para peatones y ciclistas del Faux Rempart de Estrasburgo, que fue construida en 1901, acusaba graves desperfectos desde hace ya varios años, motivo por el cual la Comunidad Urbana de Estrasburgo se vio obligada a cerrar su acceso desde hace más de tres años.

Tras haber estudiado diversas soluciones de consolidación se tomó finalmente la decisión del derribo y reconstrucción de esta pasarela idénticamente a la existente, y todo ello bajo el control del Arquitecto Oficial de los Edificios de Francia, dado que el centro histórico de Estrasburgo está clasificado a título de patrimonio mundial de la Unesco.

El derribo se ha efectuado en noviembre de 1999, con motivo de una interrupción de la navegación fluvial y su reconstrucción, a cargo de la empresa GTM Construction, finalizará durante el mes de julio de 2000.

Photo 1
Vue générale
de l'ouvrage
avant le premier ripage
General view of the structure
before first displacement



Photo 2
Vue sur le pont
après le premier ripage :
zone de chantier
sur l'ouvrage existant
View of bridge
after first displacement :
working zone
on existing structure

Photo 4
Vue du tablier
avant sa descente
sur appuis
View of deck
before lowering
onto supports



© Photo imatec



Photo 3
Vue de l'ouvrage
complet avant
le deuxième ripage
View of complete
structure before second
displacement

© Photo imatec

réseau de coordination des feux de l'agglomération, deux câbles de 20 kV, une canalisation d'eau. Un réseau multitubulaire pour le tramway vient compléter cet ensemble.

L'ouvrage est conçu comme un ouvrage complètement indépendant de l'ouvrage existant : son profil en long est adapté au fonctionnement du tramway et sa structure étant différente de l'ouvrage existant, les libertés de mouvement de l'un par rapport à l'autre (dilatation, flèches sous circulation) sont conservées. Une tôle couvre-joint franchissant l'espace entre les deux ouvrages constitue un terre-plein central non accessible.

Le relevage du pont existant

Afin de mettre les gabarits SNCF aux normes européennes et de préparer la gare de Nancy à accueillir le TGV en 2006, il a été retenu de relever de 520 mm l'ouvrage existant datant de 1870. Cet ouvrage est constitué de sept poutres métalliques continues reliées entre elles par des entretoises. Ces entretoises soutiennent des voûtains en brique qui portent la structure de la chaussée.

Les trottoirs sont constitués d'une dalle en béton armé de 120 mm d'épaisseur datant de 1958. L'ouvrage possède une pile-culée à l'ouest, cinq travées inégales de 19 m à 6 m et une culée à l'est. L'ouvrage mesure 70 m de long pour 14,500 m de large une fois le trottoir sud démoli.

Afin d'éviter tout désordre à l'ouvrage la solution de levage assisté par ordinateur (LAO) a été naturellement retenue de sorte que les 56 appuis restants sont relevés simultanément.

L'ouvrage d'allongement

Dans le cadre du réaménagement des espaces publics autour de la gare, l'ouvrage conservé est rallongé par un ouvrage métallique de même constitution que l'ouvrage d'élargissement. L'ensemble constitué par le pont existant et l'ouvrage d'allongement est ainsi aussi long que l'ouvrage d'élargissement.

L'ouvrage d'allongement d'une seule travée de 16 m et de 14,370 m de large est constitué de sept poutres dans le prolongement des poutres du pont conservé. Il supporte une chaussée de 8,100 m de large pour trois voies de circulation et un trottoir de 5,650 m.

Prolongeant la culée est, un nouveau mur de soutènement de 50 m de long de hauteur variable (4 m à 1,700 m) est construit devant la gare libérant ainsi un espace de 10 m de large pour des aménagements liés à la restructuration de la gare.

Le pôle intermodal

Le reste du projet consiste en l'aménagement d'une gare routière (environ 12 000 m²), d'une station

tramway et d'un local sous-station électrique pour l'alimentation du tramway constituant ainsi un pôle intermodal d'échange entre les différents moyens de transport en commun.

Pour la station tramway, les concepteurs ont souhaité que ces infrastructures de transports se plient au réseau des rues de la ville. En alignant la station avec l'avenue Foch au sortir de l'ouvrage d'art, cela a permis de préserver un espace précieux en centre-ville et rend plus lisible l'espace public de la ville aux usagers. De même, la gare routière a été développée avec le souci d'économie d'espace et de lisibilité. La mise en place d'une gestion dynamique des déplacements et du stationnement des bus a permis d'optimiser l'espace dévolu à leur circulation. Ainsi les piétons se voient offrir de larges espaces d'attente, abrités sous une voûte de platanes.

■ MÉTHODOLOGIE

L'ouvrage d'élargissement

Les travaux de cet ouvrage commencent en neutralisant une moitié de la chaussée qui est réservée aux travaux. Après démolition du trottoir (un mois) qui ne pouvait être conservé, sa structure ne permettant pas d'y faire circuler des véhicules, les travaux de micropieux et de terrassements (un mois) pour les fondations se déroulent de nuit. En effet, durant les travaux, l'exploitation de la gare est maintenue en permanence. La circulation des trains (ligne Paris-Strasbourg et trains régionaux) ne permet pas de disposer de plages horaires satisfaisantes pour des travaux de jour.

Après la mise en place des poteaux du nouvel ouvrage et des palées de ripage sur les quais, le tablier du pont est approvisionné en tronçons de 5 m x 30 m. Ces tronçons préfabriqués en usine sont approvisionnés par transport exceptionnel et assemblés par soudage dans la partie du pont réservée au chantier pour former un élément de 5 m x 90 m (photo 1). Après un ripage transversal de 5 m, les trois derniers tronçons sont approvisionnés dans l'espace libéré (photo 2), assemblés entre eux puis assemblés à l'élément précédent. Le tablier complet (190 t) est alors positionné à la verticale de sa position définitive par un deuxième ripage transversal de 5 m (photo 3) avant d'être descendu d'environ 2 m pour reposer sur ses appuis définitifs (photo 4).

La durée totale des travaux de charpente sur site est de 4 mois et demi.

S'enchaînent alors les travaux de superstructure de l'ouvrage (photo 5) d'une durée de 3 mois et demi :

- ◆ pose et scellement des corniches et bordures en béton armé ;
- ◆ pose collée des rails de guidage du tramway ;



Photo 5
Travaux de superstructure : bordures, corniches, rails
Superstructure works : curbs, cornices, rails

- ◆ étanchéité en asphalte élastomère ;
- ◆ transfert des réseaux et béton de trottoir ;
- ◆ mise en œuvre des enrobés ;
- ◆ pose des garde-corps et des protections caténaïres.

Après les tests de l'ouvrage, la circulation automobile est transférée provisoirement sur la voie réservée du tramway du nouvel ouvrage libérant ainsi l'ancien ouvrage pour le relevage.

Le relevage du pont existant

Les travaux préparatoires consistent à :

- ◆ excaver les quais jusqu'au niveau d'assise des poteaux ;
- ◆ désolidariser le pont de ses culées ;
- ◆ dévier les réseaux ;
- ◆ décrocher les caténaïres SNCF fixés sous l'ouvrage.

Le relevage du pont dont le poids estimé est de 1 300 t se fait en pied de poteaux. Les vérins reposent sur des chaises métalliques spécialement conçues pour l'opération. Les vérins soulèvent les poteaux par l'intermédiaire de consoles bridées sur les poteaux à l'aide de barres de précontrainte horizontales (photo 6).

Chaque appui courant est levé par deux vérins d'une capacité de 50 t chacun et d'une course de 200 mm, couplés hydrauliquement entre eux. En fin de course, un couple de deux autres vérins est positionné sous les consoles pour la reprise de charge et la course suivante. Afin de limiter le nombre de centrales hydrauliques, des groupes de vérins sont constitués de sorte que le levage se fait sur 32 appuis hydrauliques pour 56 appuis physiques. Ces groupes sont constitués par les poteaux ayant une charge similaire à reprendre.

Le relevage se fait en trois nuits successives. La première nuit est consacrée à la prise en charge de l'ouvrage et à la désolidarisation des appuis. Les deuxième et troisième nuits sont consacrées au relevage proprement dit : 280 mm et 260 mm respectivement. La vitesse de levage instantanée atteint 10 mm/min. Le reste du temps est occupé par les divers réglages et manutentions nécessaires aux reprises de charge ainsi que par les arrêts des opérations pendant le passage des trains. Les vérins sont contrôlés en déplacement par des capteurs répartis sous l'ouvrage.

Les rehausses métalliques de l'ouvrage sont mises en œuvre en pied de poteau avec un jeu de 20 mm,



Photo 6
Installation de relevage
Hoisting installation

avant de redescendre l'ouvrage sur ses appuis définitifs toujours avec l'assistance de l'ordinateur. S'ensuivent les travaux de berlinoise et de terrassement pour faire place à l'ouvrage d'allongement et au nouveau mur de soutènement.

L'ouvrage d'allongement

Bien que l'ouvrage d'allongement soit de même structure que l'ouvrage d'élargissement, sa mise en œuvre est bien différente. Après les travaux de fondations et de culée, l'ouvrage est approvisionné en trois tronçons de 4,800 m x 16 m et mis en place à la grue. Ces travaux ne sont pas soumis aux contraintes ferroviaires de l'ouvrage d'élargissement mais se déroulent de nuit car ils nécessitent l'interruption totale de la circulation automobile sur l'une des avenues les plus fréquentées de l'agglomération nancéienne. Les tronçons sont ensuite assemblés entre eux par soudage sur site.

S'ensuivent les travaux de superstructures :

- ◆ pose et scellement des corniches et bordures en béton armé ;
- ◆ étanchéité ;
- ◆ couche de roulement ;
- ◆ réseaux et béton de trottoir ;
- ◆ pose des garde-corps.

Les modifications de l'ouvrage existant se font dans le même temps : dépose et repose de bordure pour élargir le trottoir selon la nouvelle répartition chaussée-trottoir souhaitée par le maître d'ouvrage et pose d'un nouveau garde-corps similaire à celui de l'ouvrage d'élargissement.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Communauté Urbaine du Grand Nancy

Groupement concepteur-constructeur

Entreprise mandataire

GTM Construction - Agence TP Est

Architecte

B + M Architecture

Bureau d'études VRD

Ingerop Méditerranée

Bureau d'études béton armé

GTM Construction - BET de Marseille

Coordonnateur sécurité

STIEN Ingénierie

Les principaux sous-traitants

- Cardem Démolition
- Eiffel Constructions Métalliques
- Freyssinet
- Smac Aciéroïd
- Solétanche-Bachy
- Spie-Drouard

ABSTRACT

Restructuring of Saint-Jean Bridge in Nancy. Steel bridges with orthotropic slab and computer-assisted hoisting

L. Bavière, Gr. Bignier, A. Fauvelle, Ph. Janny

The restructuring of Nancy's Saint-Jean Bridge falls within the context of works on the town's first tramway line.

For this project, the client sent out a design-build call for tenders. Not only did this make it possible to meet the short deadlines from design to construction (18 months), but also to achieve a significant saving in relation to the initial budget. The adopted design is a free variant which conserves as much of the existing bridge as possible compared with the initial solution which consisted in demolishing everything and rebuilding a new structure.

For this operation, two orthotropic-slab steel bridges are built and state-of-the-art computer-assisted hoisting techniques are used..

RESUMEN ESPAÑOL

Reestructuración del puente Saint Jean, en Nancy. Puentes metálicos de losa ortótropa y maniobras de elevación con ayuda de ordenador

L. Bavière, Gr. Bignier, A. Fauvelle y Ph. Janny

La reestructuración del puente Saint Jean, de Nancy, corresponde al programa de obras de la primera línea de tranvías de la aglomeración urbana.

Para esta operación, el cliente ha recurrido a una licitación según la fórmula de diseño-ejecución. No sólo esta opción ha permitido respetar los plazos limitados impartidos desde los estudios hasta la ejecución (18 meses), sino también conseguir un importante ahorro con respecto al presupuesto inicial. La solución adoptada corresponde a una variante libre que conserva en todo lo posible el aspecto existente por comparación con la solución inicial, consistente en destruir la totalidad del puente para reconstruir una nueva estructura. Para esta operación se han construido dos estructuras metálicas de losa ortótropa, para lo cual se han aplicado las

últimas innovaciones en el aspecto de la elevación con ayuda de ordenador.

La ligne de 400 kV Méry-Vesle Reconstruction et renforcement après la tempête

Gérard Objoie



INGÉNIEUR D'AFFAIRES
Linélec

Stéphane Scotti



di Vettimo
CHEF DE SERVICE -
DÉPARTEMENT LIGNES
ET BATTAGE
Spie Fondations

Les tempêtes des 26 et 27 décembre 1999 ont touché de nombreuses lignes du réseau EDF. Pour faire face à cette situation d'urgence sans précédent, toutes les entreprises concernées se sont mobilisées. Parmi elles, trois entités de SPIE – Linélec, Spie Fondations et Spie Trindel – ont mis immédiatement des moyens importants en hommes et en matériels à la disposition d'EDF. Au total, plus de 800 personnes de ces entités sont intervenues dans toutes les régions sinistrées. Dans un premier temps, il s'agissait de sécuriser les ouvrages, d'effectuer les installations provisoires et remises en état nécessaires. La deuxième étape a consisté à reconstruire ou à renforcer certains grands ouvrages endommagés. C'est ainsi que plusieurs lots de la réhabilitation de la ligne THT (400 kV) Méry-Vesle ont été confiés à Linélec et Spie Fondations.

Pour la réhabilitation des lignes HT et THT endommagées, EDF a d'abord dû faire, au cas par cas, un choix entre les différentes solutions possibles : démontage et reconstruction en lieu et place, réparation et/ou renforcement.

■ LES SOLUTIONS RETENUES POUR LA LIGNE MERY-VESLE

Cette ligne THT simple terre, à faisceaux de deux câbles par phase, relie sur 80 km le poste de Méry-sur-Seine (Aube) à celui de Vesle (Marne). Elle est supportée par des pylônes treillis de 30 à 40 m de hauteur, à fondations superficielles, dites aussi classiques (3 m de profondeur au maximum). Elle a été pratiquement détruite à 100 % sur une grande partie de son tracé, puisque 101 pylônes (à partir du poste de Vesle) sur 155 ont été abattus – cassés en général à mi-hauteur – ou ruinés.

EDF a donc décidé de reconstruire cette partie en lieu et place et de renforcer le reste (pylônes et fondations) qui n'avait que peu ou pas été touché par la tempête. À cette occasion, la ligne, conçue à l'origine pour des vents normaux (110 km/h), a été recalculée pour des vents forts (125 km/h).

Le démontage et la reconstruction d'un tronçon ruiné de 15 km ont été attribués à Linélec pour les pylônes et câbles, tandis que Spie Fondations était chargé des fondations spéciales de six lots sur huit de la ligne, soit 79 pylônes neufs et 38 renforcements.

■ LE DÉMONTAGE ET LES AMÉNAGEMENTS PRÉPARATOIRES

Les sécurisations nécessaires ont été effectuées par EDF dans les jours qui ont suivi la tempête. Linélec a procédé, du 1^{er} au 15 avril, au démontage intégral des câbles, pylônes et fondations de ce tronçon. La dépose des fondations superficielles, constituées d'une cheminée ancrée sur dalle pour chaque pied, comprenait l'excavation intégrale de l'ouvrage en béton puis la purge, le remblaiement et le compactage. Étant donné que les nouvelles fondations étaient implantées exactement au même endroit, cette opération devait être menée avec grand soin.

Bien entendu, de tels travaux nécessitaient de multiples démarches (déclarations et obtention d'autorisations) auprès des divers concessionnaires, qui ont dû être accomplies dans des délais très courts.

Au préalable, Linélec a fait les aménagements préparatoires (pistes d'accès et plates-formes de travail au pied des pylônes) et envoyé sur site une brigade de topographie pour la réimplantation des pylônes.

■ LES FONDATIONS SPÉCIALES

On a donné la préférence aux fondations profondes pour tous les pylônes à reconstruire. D'abord par-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Exploitants

- EDF GET Champagne-Morvan
- EDF GET Champagne-Ardenne

Maître d'ouvrage et maître d'œuvre

EDF TENE-GIMR

Entreprises

- Linélec
- Spie Fondations

Figure 1
Constitution d'un pieu battu injecté avec circulation de l'injection

Providing a driven-grouted pile with grout circulation

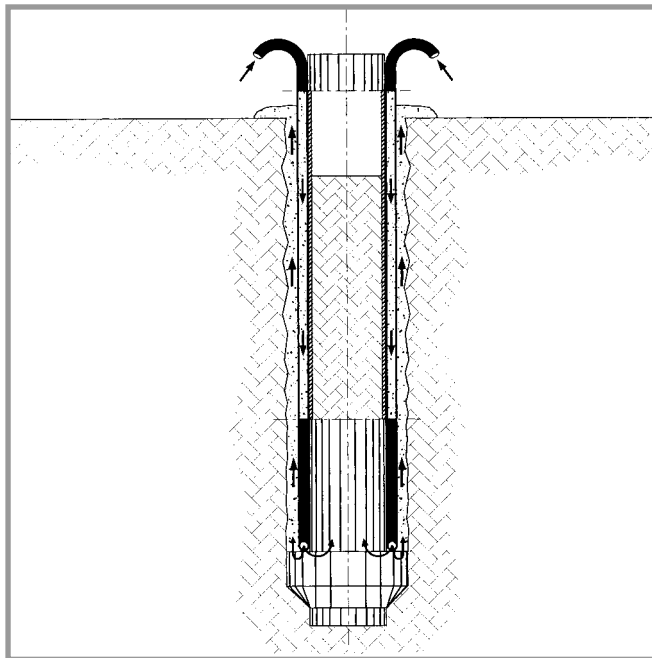


Photo 1
Sonnette de battage type Fundex F12
Fundex F 12 pile hammer

faite adéquation avec les contraintes d'urgence propres au projet.

Deux technologies ont été mises en œuvre sur ce chantier : les pieux battus injectés et les micropieux (barres auto-forantes).

Une attention particulière a été portée à la qualité des injections et du béton mis en œuvre sur le chantier. Les résistances aux jeunes âges de ces matériaux ont été contrôlées avec prélèvement d'éprouvettes pour chaque pylône.

Les pieux battus injectés

Utilisés pour 43 pylônes, ces pieux conviennent pour des terrains de compacité faible à moyenne. Le pieu battu injecté (figure 1) est constitué d'un tube métallique (l'armature) équipé à son extrémité d'un sabot annulaire débordant de 8 cm.

Cet ensemble est mis en place par battage, et, tout au long de son enfoncement dans le sol, l'espace annulaire créé entre le tube et le terrain est comblé par injection à faible pression d'un mortier de ciment.

Les pieux réalisés pour ce chantier étaient de diamètre 566 à 820 mm pour des longueurs de 6 à 15 m. Ils ont été mis en place au moyen d'un porteur sur chenilles de type Fundex F 12, pesant environ 60 t (figure 2 et photo 1). L'énergie de battage a été délivrée à l'aide de moutons diesels type Delmag D22/D30.

L'emploi de ce matériel a permis un battage de pieux inclinés (suivant la pente des pylônes) dans le respect de très faibles tolérances dimensionnelles.

Une fois le battage achevé (un pieu par pied de pylône), la liaison avec la superstructure a été réalisée par scellement direct de l'embase. L'intérieur du tube battu a été curé sur 2 à 3 m à l'aide d'une

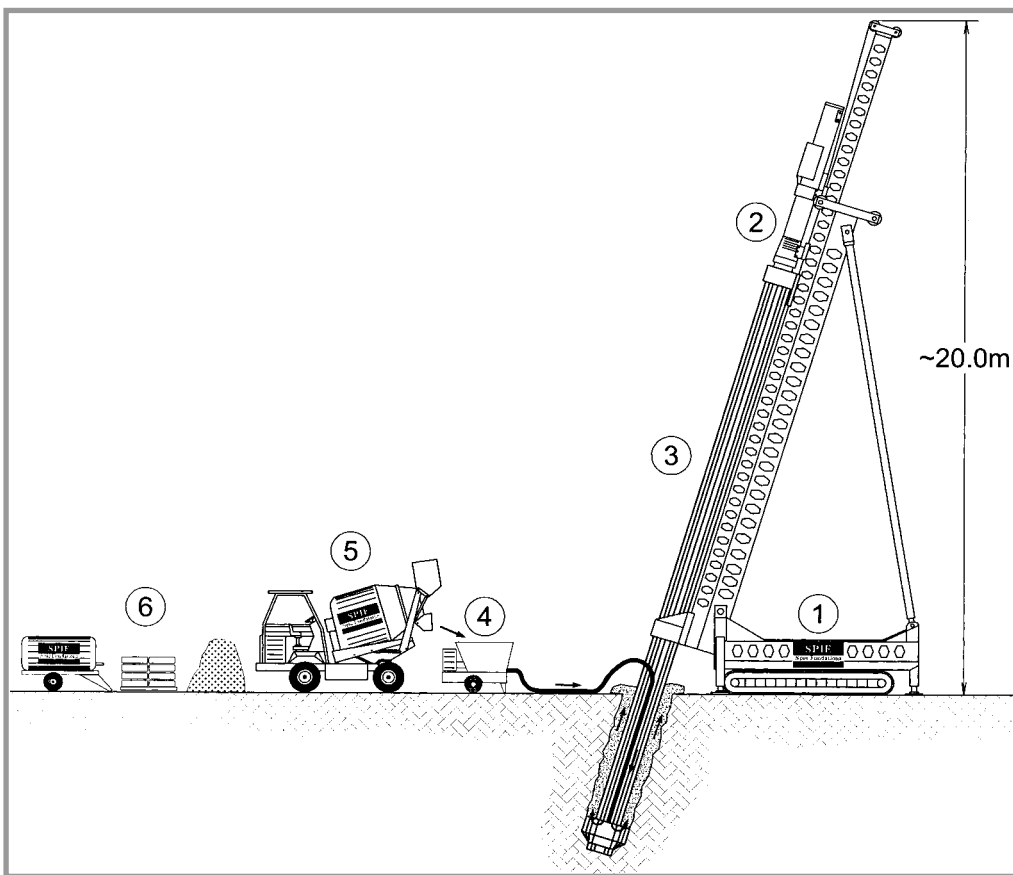


Figure 2
Atelier pour la réalisation de pieux battus injectés. (1) Sonnente de battage type Fundex F 12 - (2) Mouton de battage diesel Delmag D22/D30 - (3) Tube métallique équipé - (4) Pompe d'injection Putzmeister P 13 - (5) Autobétonnière de fabrication et de transport du mortier - (6) Stockage des matériaux

Plant producing driven-grouted piles. (1) Pile driver of the Fundex F 12 type - (2) Delmag D22/D30 diesel pile hammer - (3) Steel tube assembly - (4) Putzmeister P 13 grouting pump - (5) Transit mixer - (6) Stocking of materials

ce qu'elles permettaient la reprise des efforts induits par un ouvrage dimensionné pour de nouvelles conditions de vent fort. Ensuite parce qu'elles permettaient de s'ancrer sous la base des anciennes fondations, en faisant abstraction du remaniement des trois premiers mètres de terrain. Précisons que les fondations profondes (spéciales) se distinguent des superficielles (classiques) par un rapport entre profondeur et diamètre supérieur à 6. Dans le cas présent, les profondeurs variaient de 6 à 16 m, suivant la nature du terrain et les efforts appliqués aux fondations. Enfin les fondations profondes ont été retenues, car cette technique est fortement mécanisée, offrant une rapidité d'exécution en par-



Photo 2
Renforcement par deux micropieux forés injectés d'une fondation superficielle (avant bétonnage du massif de liaison)

Strengthening by means of two bored-grouted micropiles for a spread foundation (before concreting the linking block)

tarière. L'embase (pièce de fixation du pylône) a été équipée de renforts d'adhérence, puis réglée et bloquée. Pour finir, on a mis en œuvre un béton de scellement. Les embases sont réglées avec la plus grande précision afin de permettre un montage parfait de la structure métallique sans exercer de contraintes indésirables. Les sorties hors sol des fondations étaient en général de 30 cm, cependant elles ont été adaptées à la topographie de chaque site, pouvant atteindre 1,30 m en terrain inondable.

Un circuit de mise à la terre des pylônes a été réalisé en même temps que les fondations. Il était constitué de quatre piquets métalliques de diamètre supérieur à 114 mm, battus à 4 m de profondeur. Ces derniers ont été connectés aux pieux et reliés au pylône par une tresse de cuivre de 50 mm².

Les micropieux forés injectés

Utilisés pour 36 pylônes à reconstruire, ces micropieux étaient bien adaptés aux terrains plus raides rencontrés sur le chantier. Le forage a été réalisé à l'aide de tiges équipées de taillants perdus de 115 à 175 mm de diamètre. La foration s'est faite en rotoperçussion avec un coulis de ciment comme fluide de forage (figure 4). Dès la profondeur désirée atteinte, de 6,50 à 15,50 m, un autre coulis dosé à 1 200 kg de ciment/m³ a été substitué à ce fluide. Le train de tiges a été laissé en place, servant ainsi d'armature au micropieu. Les micropieux (de 2 à 4 par pied de pylône) ont été forés inclinés selon la pente de la superstructure avec de très faibles tolérances pour limiter les contraintes dans les armatures.

On a confectionné ensuite un massif de liaison micropieu-embase (figure 5). À cette fin, on a réalisé

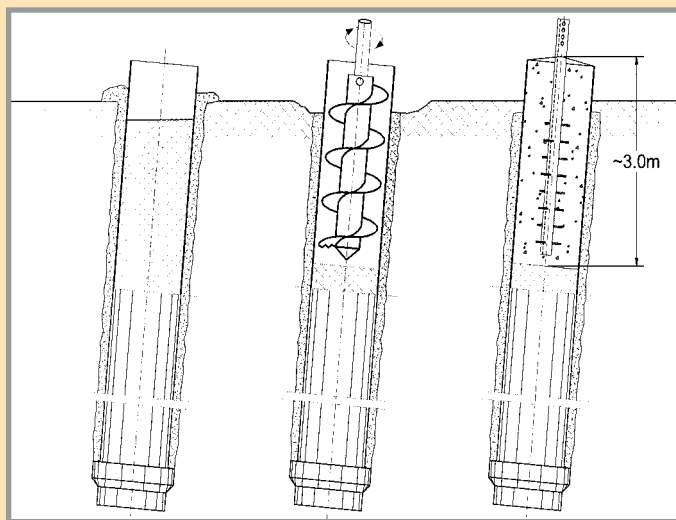


Figure 3
Réalisation du massif de liaison pieu battu injecté-embase du pylône par scellement direct de l'embase

Completing the block linking the grouted pile and the base of tower by director anchoring of the base

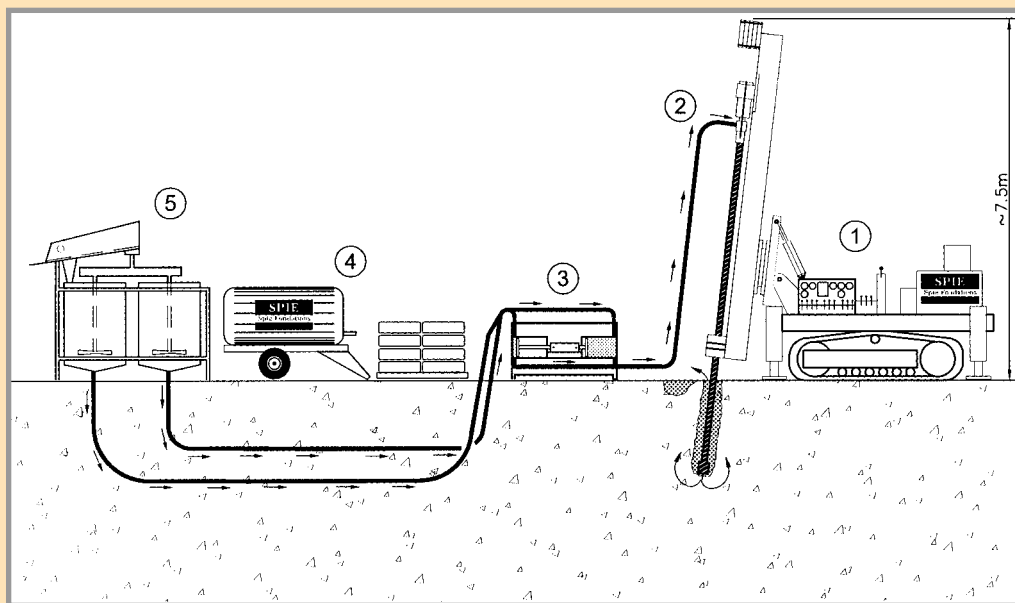
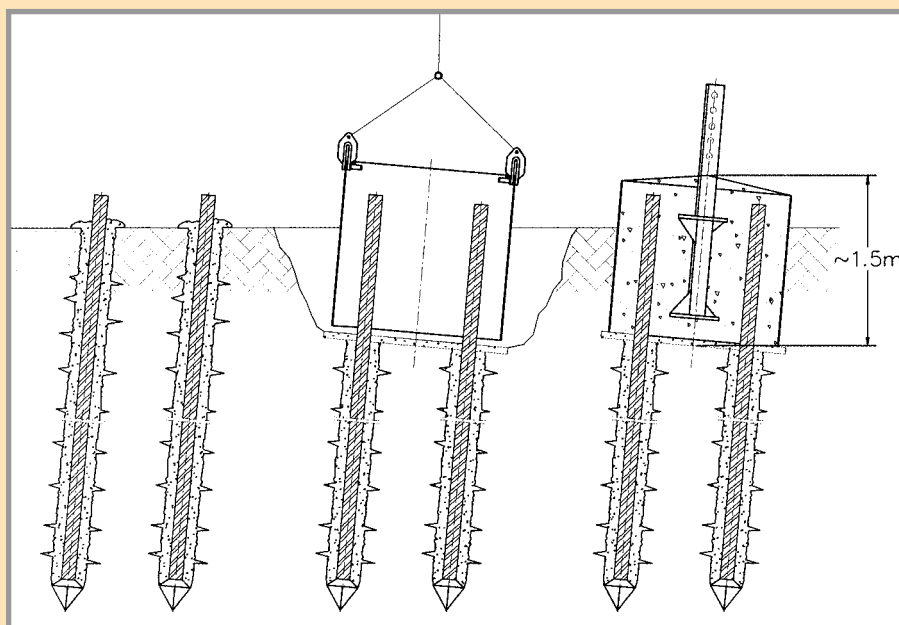


Figure 4
Atelier pour la réalisation de micropieux forés injectés. (1) Foreuse type DCH 14 - (2) Tête de forage type Hydrill HD 80 160 et touret d'injection. Presse d'injection Domine PH 125. Stockage des matériaux. Turbomalaxeur de préparation de coulis Bonne Espérance avec groupe électrogène 60 kVA

Plant producing grouted-bored micropiles. (1) DCH 14 type drill- (2) Hydrill HD 80 160 boring head and grouting tower. Domine PH 125 grouting press. Stocking of materials. Bonne Espérance slurry preparation turbomixer with 60-kVA generating set

Figure 5
Réalisation du massif de liaison micropieu foré-embase du pylône

Completing the block between the bored micropile and the base of the tower





une excavation inférieure à 1,30 m pour chaque pied de pylône qui permettait le recépage des micropieux. Les embases coupées et équipées de platines ont été réglées au milieu des micropieux. L'ensemble a été pris dans un tube métallique d'environ 1,20 m de diamètre, servant d'armature et de coffrage perdu dans lequel a été coulé le béton de scellement.

■ LE RENFORCEMENT DES FONDATIONS SUPERFICIELLES

Pour les pylônes restés en place, les fondations superficielles existantes ont été recalculées avec les nouvelles hypothèses de vent fort. Cette vérification a conduit au renforcement des fondations de 38 pylônes.

Le renforcement a été réalisé suivant la même technique de micropieux forés injectés. Ceux-ci devaient s'ancrer dans les horizons compacts après avoir traversé les dalles des massifs existants. On a foré de deux à cinq micropieux par pied, de 115 à 130 mm de diamètre, jusqu'à 16 m de long. Le choix de cette technique a été conditionné notamment par l'emploi d'un matériel peu encombrant, respectant la distance réglementaire de sécurité par rapport aux conducteurs dans le cas d'un travail effectué avec la ligne remise en service. Une fois les micropieux en place, on a réalisé une excavation de moins de 1 m, pour permettre leur recépage et le repiquage de la cheminée du massif superficiel.

Deux demi-coquilles ont été enfin soudées entre elles, assurant à la fois le coffrage et le frettage du béton coulé à l'intérieur.

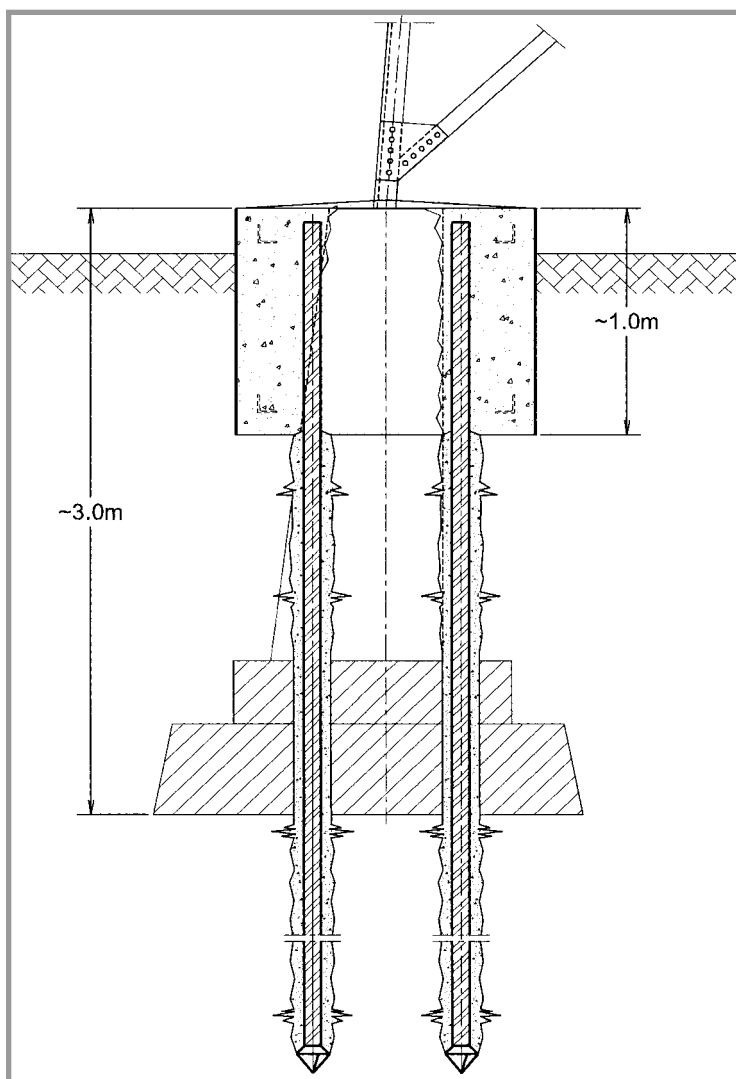
■ LA RECONSTRUCTION DE 15 KILOMÈTRES DE LIGNE

Le montage des pylônes s'effectue par tronçons qui sont ensuite levés au moyen d'une grue sur pneus de 120 t (photos 3 à 6). Le levage ne peut intervenir que cinq jours après l'achèvement des fondations et le déroulage des câbles quinze jours plus tard.

Le déroulage des câbles s'est fait sous tension mécanique pour éviter qu'ils ne touchent le sol, comme EDF l'exige désormais. On utilise à cette fin une câblette en nylon, reliée à une câblette en acier à

Figure 6
Principe de renforcement d'un massif de fondation superficielle par micropieux forés injectés

Strengthening principle for a spread foundation block using grouted-bored micropiles



Photos 3 à 6
Levage d'une tête de pylône 400 kV
Lifting a 400-kV tower head



laquelle est fixé le faisceau de deux câbles conducteurs à dérouler, les tensions exercées sur chacun de ces éléments étant progressives. La tension maximale appliquée sur le faisceau était ici de 6 t. Deux câbles unifilaires de garde, dont l'un avec circuits de télécommunications, ont été également déroulés sur ce tronçon.

Pour le déroulage de cette section, il a fallu franchir plusieurs obstacles : le canal de l'Aisne à la Marne, l'autoroute A4, la RN44, la voie ferrée de Reims à Châlons-en-Champagne, une ligne THT (225 kV) et une ligne MT (20 kV). Pour la traversée de ces deux lignes (photo 7), on a eu recours à deux grues de 55 t, équipées chacune en bout de flèche d'une fourche avec des rouleaux destinés à prévenir le coincement des câbles.

Ces opérations, qui impliquent l'interruption du fonctionnement des ouvrages franchis, doivent évidemment obtenir les autorisations requises et respecter des règles de sécurité imposées par les concessionnaires.

■ LE RENFORCEMENT DES PYLÔNES

Linélec a été également chargé du renforcement de 15 pylônes, non touchés par la tempête, et du remplacement de deux autres sur les 23 premiers supports à partir du poste de Méry-sur-Seine.

Le renforcement consistait à modifier le croisillonnage de la structure treillis métallique du pylône, plus particulièrement les tronçons supérieurs et inférieurs du fût ainsi que la partie basse de la tête. Ce travail doit être fait selon un mode opératoire rigoureux, notamment pour les barres soumises à des efforts de compression.

La reprise de ces efforts est réalisée au moyen de cornières provisoires. Le lot comprenait aussi le remplacement de l'un des deux câbles de garde existants par un câble de garde avec circuits de télécommunications (type Thym).

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Aménagements préparatoires

- 32 000 t de matériaux manipulés, en majorité du béton de recyclage concassé
- 3,6 km de pistes d'accès
- Renforcement de 11,4 km de chemins existants par apport de 20 cm de matériaux
- 10 000 m² de plates-formes au pied des pylônes
- Plate-forme de 1 200 m², de 1 m d'épaisseur au pied d'un pylône situé en zone marécageuse

Fondations

- 1 414 m de pieux battus injectés
- 3 070 m de micropieux forés injectés pour les pylônes à reconstruire
- 2 392 m de micropieux forés injectés pour les renforcements
- Efforts maximum repris pour un pylône : 99 t à la compression et 104 t à l'arrachement
- Somme des efforts repris pour la ligne : 15 364 t à la compression et 14 744 t à l'arrachement

Lignes

- Assemblage et levage de 27 pylônes d'angle et d'alignement de 9 à 30 t (423 t au total)
- Déroulage de 90 km de câble conducteur unifilaire Aster de 570 mm², de 15 km de câble de garde Phlox de 228 mm² et de 15 km de câble de garde avec circuits de télécommunications Thym de 157,4 mm²
- Renforcement de quinze pylônes et reconstruction de deux autres sur un tronçon de vingt-trois supports, avec remplacement de l'un des deux câbles de garde par un câble de télécommunication Thym de 157,4 mm²





Photo 7

Passage des câbles au-dessus d'une ligne 225 kV existante. La protection de cette ligne s'effectue à l'aide de deux grues de 55 t équipées chacune d'une fourche à rouleaux en bout de flèche

Passing cables over an existing 225-kV line. This line is protected by means of two 55-t cranes each equipped with a roller fork at the end of the boom



■ LES SPÉCIFICITÉS DU CHANTIER

Ces travaux se caractérisent par des délais très courts. Ainsi Spie Fondations a réalisé les fondations spéciales de 76 pylônes neufs en cinq semaines, soit une durée réduite de moitié par rapport au contexte habituel. Pour sa part, Linélec a commencé la reconstruction du tronçon qui lui a été attribué le 1^{er} avril et achèvera l'ensemble des travaux qui lui ont été confiés pour la fin juin, c'est-à-dire la moitié des délais habituellement pratiqués. Pour y parvenir, les deux entreprises ont augmenté en conséquence les moyens en hommes et en matériels. Spie Fondations a constitué cinq ateliers mobiles de fondations et mis en place deux unités fixes de préparation d'armatures pendant le démontage de la partie de ligne à reconstruire. Pour sa part, Linélec a commencé le prémontage sur site des tronçons de pylônes sans attendre l'achèvement des fondations spéciales. Par ailleurs, cinq équipes ont été affectées au déroulage, au lieu de trois.

Les opérations d'assemblage des pylônes et de déroulage des câbles sont effectuées par le même personnel, qui doit donc être à la fois polyvalent et spécialisé dans ce domaine particulier que sont les lignes HT et THT. Il en va de même pour les fondations spéciales de pylône. Ces deux métiers complémentaires se caractérisent par l'autonomie et les effectifs réduits des équipes de réalisation (dix hommes au plus) qui opèrent sur des sites dispersés.

ABSTRACT

The 400-kV Méry-Vesle line. Reconstruction and strengthening after windstorm

G. Objoie, S. Scotto di Vettimo

The windstorms in France on 26 and 27 December 1999 hit many power lines on the EDF (French power utility) network. To deal with this first-ever emergency situation, all the companies concerned were mobilised. Among them, three entities of SPIE- Linélec, Spie Fondations and Spie Trindel - immediately placed massive facilities in men and equipment at the disposal of EDF; In all, 800 people from these organisations intervened in all the stricken regions. Initially, priority was given to the securing of structures, and to the provision of temporary installations, and repair operations. This was followed by the reconstruction or strengthening of certain major structures. Several sections of the rehabilitation works on the Méry-Vesle VHV (400-kV) line were thus contracted to Linélec and Spie Fondations.

RESUMEN ESPAÑOL

La línea de 400 kV Mery-Vesle. Reconstrucción y refuerzo tras la borrasca

G. Objoie, S. Scotto di Vettimo

Las violentas borrascas de los días 26 y 27 de diciembre de 1999 han afectado a numerosas líneas de la red de distribución de EDF (Electricité de France). Para hacer frente a semejante situación de emergencia sin precedentes, se han movilizado todas las empresas de la profesión, entre las cuales figuran tres entidades de SPIE - Linélec, Spie Fondations y Spie Trindel - que pusieron inmediatamente a la disposición de EDF importantes medios, tanto en hombres como en equipos. En total, más de 800 personas de estas empresas han intervenido en todas las regiones siniestradas. En una primera etapa, se trataba de obtener la seguridad de las estructuras, efectuar las instalaciones provisionales necesarias así como poner en estado operativo las estructuras. La segunda etapa ha consistido en reconstruir o reforzar algunas de las grandes estructuras deterioradas. Así, por ejemplo, varios lotes de rehabilitación de la línea de

muy alta tensión (400 kV) Mery-Vesle han sido encargados a Linélec y Spie Fondations.



Chantier de confortement de falaise à Granville

Travaux d'accès difficile

Suite à une étude réalisée par des experts en géotechnique, la falaise située au-dessus d'une promenade, à Granville, est déclarée sensible : des risques d'éboulement menacent la sécurité des piétons. La configuration du lieu ne permettant pas de recourir à des procédés traditionnels, une intervention sur corde s'impose. Le chantier, réalisé grâce aux techniques des travaux d'accès difficile, consiste à effectuer une purge des rochers instables et à consolider l'ensemble de la falaise. L'article décrit la méthode d'intervention sur le site inaccessible et les principales étapes du travail que sont le déroctage, le clouage des masses rocheuses, l'équipement de barbacanes dans les zones fragiles, la pose d'un grillage pare-éboulis, et, enfin, la consolidation par béton projeté. Cette dernière étape est particulièrement intéressante car elle met en application un procédé nouveau, offrant un gain de temps et de coût par rapport aux autres méthodes de renforcement par béton.

■ LA TECHNIQUE

La formation de cordiste

Les actions menées depuis plusieurs années par le Syndicat National des Entreprises de Travaux d'Accès difficile visent à faire reconnaître la profession de cordiste. C'est dans cette perspective que le SNETAC a mis en place, en 1991, une formation professionnelle adressée aux salariés des entreprises adhérentes. L'objectif est de permettre à ces salariés d'acquérir une qualification spécifique aux travaux d'accès difficile. La formation vise l'adaptation aux différentes situations du métier, la maîtrise des techniques et de la sécurité, l'organisation et la gestion de son poste de travail, la prise en compte des autres intervenants et des riverains. Il s'agit d'une formation en alternance entreprise/centre de formation. Un parcours personnalisé est proposé à chacun.

Sous le parrainage de la Fédération nationale des Travaux Publics, le SNETAC a constitué un groupe de pilotage de la formation de cordiste. Cette formation s'est concrétisée par l'obtention d'un Certificat national de qualification professionnelle de cordiste, qui est attribué par un Jury composé d'employeurs et de salariés.

Travaux d'accès difficile à Granville

Le site très escarpé interdit toute intervention autre que sur corde. Le chantier est donc assuré par des spécialistes des travaux d'accès difficile : ce sont

des techniciens qui travaillent sur cordes selon les techniques d'alpinisme et de spéléologie. Ils utilisent des cordes statiques de 2,9 tonnes de résistance, des baudriers et des mousquetons spécialement conçus pour ce type de travaux. L'approche se fait depuis le haut de la falaise : des premiers ancrages sont installés en tête de la masse rocheuse afin d'assurer la sécurité des hommes et la protection du matériel. Les nœuds sont ceux utilisés en alpinisme : nœuds de chaise ou nœuds de huit. La sécurité étant le maître mot, il y a toujours deux cordes par technicien : une corde de travail et une corde de sécurité, qui sont fixées à des amarrages dissociés. L'équipe possède une parfaite maîtrise de la sécurité et des techniques de levage, et est spécifiquement formée aux techniques de forage et de projetage. L'approche sur corde offre de nombreux avantages par rapport au travail sur échafaudage : une mise en place plus rapide et plus aisée, une intervention plus discrète et surtout plus économique au niveau du temps, et une sécurité optimale. De plus, face aux risques de chute des blocs rocheux instables, cette approche par le haut de la falaise évite le danger inhérent à une mécanisation lourde par le bas.

Les techniciens prennent garde à l'abrasion de la roche, en équipant leurs cordes de protège-cordes de type gaines de pompiers lorsqu'ils descendent le long d'arêtes saillantes.

Les chariots de forage, les manches à air, les tuyaux de projetage et les autres types de matériel sont fixés aux ancrages supérieurs au moyen de tirfors et de câbles 3,2 tonnes. Les déplacements des chariots de forage sont effectués à l'aide des tirfors, de palans et de mouflage.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Ville de Granville

Maître d'œuvre

Fondouest

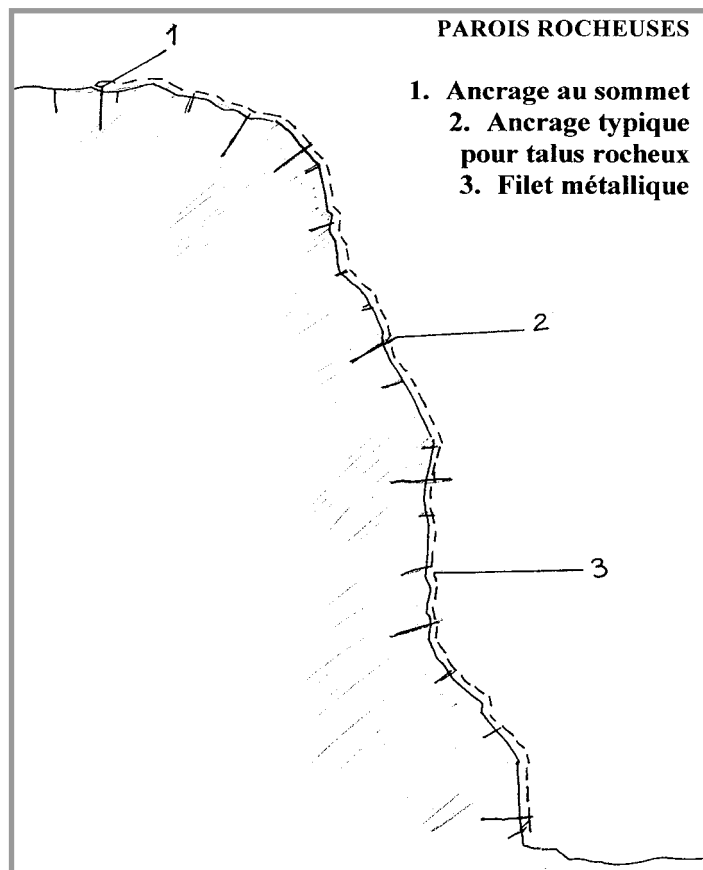
Entreprise

Ouest Acro

Maile type	Charge de rupture (Kg/m)				
	Fil ϕ mm				
	2.00	2.20	2.40	2.70	3.00
60 x 80	3000	3500	4200	4700	
80 x 100	-	-	3400	4300	5300
100 x 120	-	-	-	3500	4300

Tableau I
Grillage double torsion
Double torsion grid

Figure 1
Méthode d'ancrages et de pose du filet
Anchoring and net placement method



► ■ LE CHANTIER

La problématique du site, déterminée par un bureau d'études, réside dans les risques de chutes de pierres et d'éboulements rocheux susceptibles de menacer la sécurité des personnes circulant sur la promenade, située en contrebas. L'objet du chantier est de purger la falaise, d'identifier les éléments instables et de les consolider, et de renforcer l'ensemble en s'appuyant sur les nouvelles applications du béton (photo 1).

Purge de la falaise

Les techniciens ôtent les éléments instables menaçant de tomber. Le déroctage se fait à la main ou à l'aide de vérins hydrauliques et de barres à mine. La dévégétalisation consiste à nettoyer la roche des plantes et des arbustes qui la fragilisent.

Repérage et clouage des masses instables

Le calcul des masses rocheuses instables permet de définir les zones de clouage. Les dimensions des clous employés ont été déterminées par un bureau d'études spécialiste en géotechnique : de 3 à 6 m de longueur, barre HA de type Gewi, scellés avec du ciment. Les clous de scellement sont équipés de centreurs afin d'assurer une bonne répartition annulaire du coulis de scellement. On utilise une injecteuse spécifique.

On parle de renforcement passif lorsqu'il s'agit d'une armature scellée à la roche mais qui n'est pas mise en tension lors de sa mise en place. Le massif naturel est ici renforcé par des clous. Le processus consiste à :

- ◆ forer un trou;
- ◆ introduire le clou avec du scellement jusqu'au fond du trou;
- ◆ sceller le clou jusqu'au col du trou.

Au total, 60 clous sont enfoncés en profondeur, dont huit servent au maintien des blocs destinés à être consolidés au béton projeté. Des plaquages sont mis en place, dont certains pour l'emmailage des masses (photo 2).

Installation de barbacanes dans les zones critiques

Ce site présentant de nombreuses fractures et fissurations, les techniciens cordistes placent des barbacanes de drainage, jusqu'au fond des failles, à raison d'une pour 10 m². Ce système doit permettre de canaliser les eaux de ruissellement et de les évacuer à l'extérieur de la falaise.

Pose d'un grillage pare-éboulis

Sur l'ensemble de la falaise, un grillage de protection est posé, à mailles hexagonales double torsion, en aluminium zingué. L'aluminium zingué a été choisi pour sa résistance à la corrosion, vu le caractère maritime du site. Ce type de grillage convient particulièrement à la protection contre les chutes de pierres. Grâce à ses mailles hexagonales, double torsion, il offre une efficacité nettement supérieure à celle d'un grillage à simple torsion, soumis au phénomène de démaillage dès qu'une chute de pierres rompt un fil section (tableau I).

La mise en place s'effectue par le haut ou par le bas de la paroi, selon les possibilités d'accès. Sur le sommet de la falaise préalablement nettoyé, on replie le filet et on l'ancre à la roche (figure 1). Un câble de portage en acier galvanisé relie les lés. Il est fixé à l'arrière des barres d'ancrage et autour de celles-ci avec retournement. Les ancrages sont en fer de type Gewi. A la base de la falaise, le filet est ancré à 0,50 m du sol.

Le grillage est posé sur une surface totale de 500 m² : il est réparti sur les blocs présentant des risques d'instabilité mais qui ne sont pas altérés en profondeur. Le long de la paroi, les lés des filets sont ligaturés entre eux par ligature continue. Toutes les parties métalliques sont traitées anticorrosion.

Consolidation par béton projeté

Pour le renforcement de la falaise, le choix se porte sur le béton projeté à fibres métalliques pour plusieurs raisons :

- ◆ avantages au niveau du temps et du coût : moindre coût de préparation de la surface par rapport à l'utilisation d'un béton hydraulique qui nécessite la mise en place préalable d'un treillis soudé ;
- ◆ avantages au niveau esthétique : le béton projeté est teint couleur "roche" et la finition lui donne l'aspect naturel et granuleux du rocher.

Le béton projeté à fibres métalliques évite de placer un treillis soudé qui, d'une part, augmenterait le coût, et d'autre part ne serait pas adapté à la surface accidentée de la falaise. Le béton projeté à fibres métalliques possède les mêmes qualités que le béton projeté à fibres synthétiques mais offre une résistance à la flexion-traction supérieure de 10 à 20 %.

Les techniciens appliquent au total 17 600 kg de béton projeté par voie sèche, avec une lance de prémouillage, soit une couche de 15 cm d'épaisseur. La voie sèche est préférée à la voie mouillée car elle offre une meilleure adhérence, permet de projeter une couche plus épaisse et présente une plus grande résistance mécanique (photo 3). Il s'agit d'un béton "La Pierre Liquide", baliga-cier. Il est constitué de quatre composants :

- ◆ Sikacrete p. Quantité par mètre cube : 15. Provenance : Sika ;
- ◆ Sable. 0/8. Quantité par mètre cube : 1750. Provenance : Seine ;



Photo 1
Vue de détail clous des masses rocheuses instables
Detail view of nails in unstable rock masses

- ◆ CPA CEM1 52,5 pm es. cp2. Quantité par mètre cube : 380. Provenance : Le Havre ;
- ◆ HS CF 25/ESF 20. Quantité par mètre cube : 40. Provenance : Harex.

Les derniers centimètres d'épaisseur sont réalisés avec du béton non fibré acier afin d'éviter la corrosion en surface des fibres.



Photo 2
Exécution du béton projeté sur cordes
Applying shotcrete on cords



Photo 3
Atelier de forage en station sur zone de clouage
Drilling plant in place on nailing zone

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Décapage : 1000 m²
- Clouage : 300 m/linéaire
- Grillage : 1000 m²
- Béton projeté : 18 000 kg
- Barbacanes : 60 ml



Après cette ultime opération, la falaise est consolidée et ne présente plus de risques d'éboulement. La promenade située en contre-bas est ouverte aux piétons

■ CONCLUSION

Le chantier de confortement de falaise de Granville est un cas intéressant car la configuration géographique et la problématique du site l'écartent des moyens d'intervention traditionnels : l'accès difficile du site et le coût important que cela représente ne permettent pas de recourir au montage d'un échafaudage. Aussi, l'intervention sur corde grâce aux techniques des travaux acrobatiques offre une solution rapide, efficace et économique, et présente l'intérêt d'un travail précis sur les moindres reliefs de la masse rocheuse. Cette technique d'intervention associée au choix du béton projeté à fibres métalliques permet, au final, d'offrir la solution la plus adaptée et la moins coûteuse.

ABSTRACT

Cliff reinforcement site in Granville. Difficult worksite access

L. Boisnard

Following a study conducted by geotechnical experts, the cliff located over a walk in Granville was declared to be a hazard with the risk of slides menacing the safety of pedestrians. The configuration of the site did not allow the use of conventional techniques, and a cord system was necessary. The project, whose completion involved difficult site access techniques, consisted in removing unstable rock portions and consolidating the entire cliff. The article describes the methods used for working in difficult access areas and the main phases of the work : rock removal, securing of rock masses, provision of weep holes in fragile zones, placing of slide-retention grids and, finally, consolidation by shotcreting. The latter phase is particularly interesting as it uses a new process offering a time and cost saving compared with other concrete strengthening methods.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras de consolidación de acantilados en Granville. Trabajos en emplazamientos de difícil acceso

L. Boisnard

A raíz de un estudio llevado a cabo por expertos geotécnicos, el acantilado situado por debajo del paseo peatonal, en Granville, fue declarado sensible, dado que existían riesgos de desprendimiento de rocas que amenazaban la seguridad de los peatones. Dado que la configuración del emplazamiento no permitía recurrir a los procedimientos tradicionales, se ha recurrido al empleo de las cuerdas. Estas obras, ejecutadas según las técnicas de los trabajos de acceso difícil, consisten en sanear las rocas inestables y consolidar el conjunto del acantilado. En el artículo se describe el método de intervención en el emplazamiento inaccesible y las principales etapas del trabajo que corresponden a la extracción de rocas inestables, el enclavamiento de las masas rocosas, la instalación de mechinales en las zonas frágiles, la instalación de un enrejado contra las eyecciones y

derrubios y, finalmente, la consolidación mediante hormigón proyectado. Esta última etapa presenta particular interés ya que se pone en aplicación un nuevo procedimiento, que permite conseguir ahorros de tiempo por comparación con otros métodos de consolidación con empleo de hormigón.

Confortement de cinq tunnels SNCF par chemisage en béton projeté RIG

Lignes de Brive à Toulouse via Capdenac et de Castelnaudary à Rodez

L'effondrement du tunnel de Granejols en mai 1995 est à l'origine des travaux de confortement des tunnels SNCF en briques sur le quart nord-est de la région de Toulouse. Suite à cet incident imprévisible une campagne d'investigations (sondages carottés, géoradar, etc.) est menée rapidement sur l'ensemble des tunnels en briques (ces tunnels ont tous été construits vers 1860) et conduit les experts en tunnels du Département des Ouvrages d'art SNCF à décider une remise à niveau en sélectionnant les zones à traiter et en les classant par ordre d'urgence. Une première intervention a été engagée sur les tunnels de Monteils, Caylou, Granejols, Campmas, Chêne, et Côte Rouge.

Compte tenu de l'importance de ces travaux, la solution technique retenue devait permettre de répondre à plusieurs objectifs :

- sécurité : renforcement de la capacité porteuse;
- technique : facilité, rapidité de mise en œuvre et possibilité de fractionnement dans le temps;
- commercial : influence limitée des travaux sur les circulations des trains (limitation à 80 km/h, maintien des gabarits).

Pour ces raisons, le choix s'est porté naturellement sur le chemisage par projection de béton "à résistance initiale garantie" (RIG).

GTM Construction a proposé à la SNCF une variante sans train de travaux.

Cette méthode inédite pour un chantier sur voies en service a tenu ses engagements de qualité et de rapidité (avec trois semaines d'avance sur la fin du délai global).

■ GÉNÉRALITÉS

Origine de la campagne de travaux

Le 13 mai 1995, la maçonnerie du tunnel de Granejols s'effondre sur une longueur d'environ 10 m, en piédroit. Le 16 mai 1995, au même endroit, éboulement de 80 m³ de maçonnerie de briques et de terrain encaissant.

Ce tunnel ne présentait aucun désordre perceptible. L'effondrement est dû à une configuration particulièrement défavorable de cette zone :

- ◆ banc de grès en appui sur la voûte et sur des bornes;
- ◆ vide dissymétrique du côté opposé à la brèche;
- ◆ surépaisseur du revêtement en voûte;
- ◆ humidité d'imprégnation des maçonneries de la base du piédroit;
- ◆ fin d'une zone de radier.

Cette zone d'effondrement a été confortée par du béton projeté armé et trois voiles transversaux pour

reprendre les charges de la voûte. Des injections ont été effectuées afin de rétablir le chargement homogène de la structure.

Suite à cet incident, la région de Toulouse a demandé au Département Ouvrages d'art SNCF de Paris, une expertise des tunnels en maçonnerie de brique des lignes 718 et 736.

Des investigations géoradar complétées par des sondages carottés et relevés d'avaries, ont alors été effectuées.

Pour pouvoir exploiter rapidement ces résultats, un programme informatique basé sur les principes de la cotation des tunnels a été mis au point. Il permet d'établir un classement des tunnels selon leur degré d'urgence.

De cette cotation, des travaux de remise en état des tunnels sont décidés et programmés en deux tranches :

- ◆ 1997 - 1998 : Monteils, Caylou, Campmas, Chêne et Côte Rouge;
- ◆ 1999 - 2000 Cornus, Granejols, Seilhan, Campmas (2^e phase), Roques, Clavel.

Jean-Luc Bonnet



DIRECTEUR
D'OPÉRATION DÉLÉGUÉ
RFF

Jean-Louis Rouquette



CHEF DE PROJET
SNCF

Alain Coudret



DIRECTEUR DE CENTRE
GTM Construction



© Studio Barranco - Toulouse

Projection de béton RIG
(résistance initiale garantie)

RIG (Guaranteed Initial Strength)
shotcreting

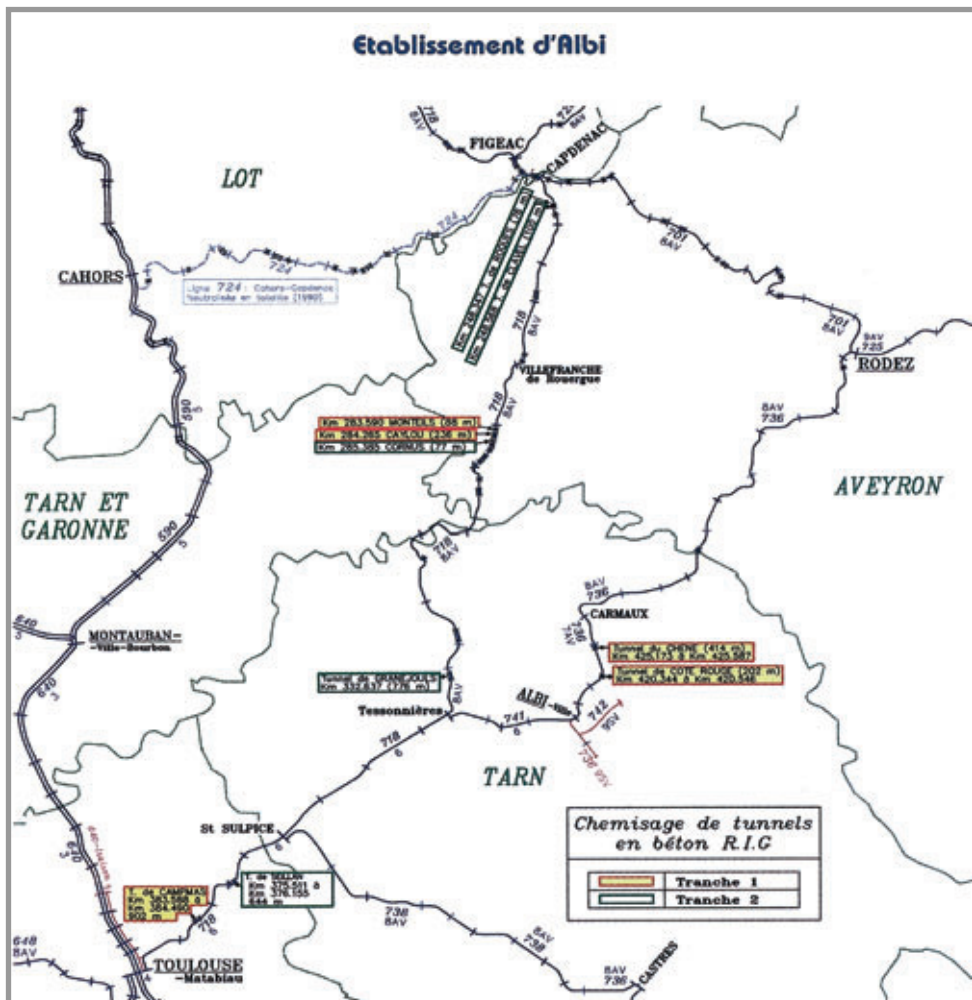
Tableau I
Conditions d'exécution
des travaux
Work execution conditions

Tunnels	Interception de voie
Monteils et Caylou	de 11h30 à 14h00 et de 14h45 à 18h00
Campmas	de 21h50 à 3h10
Chêne et Côte Rouge	de 22h30 à 4h50

TUNNEL	GÉOMÉTRIE					MAÇONNERIE	DIVERS
	Long traitée Long tot (m)	Tracé	Pente mm/m	Hauteur Sous clé	Voie		
MONTEILS Ligne 718 PK 283,590 à 283,678	88/88	Courbe à dte R = 350 m	5,82	6,15	Double exploitée unique côté gauche	Briques en parement + maçonnerie ordinaire en moellons (épaisseur 20 + 48 cm)	Non éclairé câbles SES en caniveau
CAYLOU Ligne 718 PK 284,265 à 284,501	88/236	Alignement	5,80	6,15	Double exploitée unique côté gauche	Briques du PM 0 à 207 (épaisseur 60 cm) + moellons du PM 207 à 236 (épaisseur 1,14 m)	Non éclairé câbles SES en caniveau
CAMPMAS Ligne 718 PK 383,588 à 384,490	410/910	Courbe à dte R = 500 m Alignement Courbe à gauche R = 500 m	8	5,65	Unique	Briques (épaisseur 55 cm) radier sur toute la longueur	Niches éclairées câbles SES sur piédroit
CÔTE ROUGE Ligne 736 PK 420,344 à 420,546	107/202	Courbe à dte R = 400 m Alignement Courbe à gauche R = 400 m	1,60	5,30	Double exploitée unique au centre	Piédroits en brique du PM 0 à 20 et 180 à 202, le reste en moellons. Voûte en brique, béton projeté sur cer- taines zones (épaisseur 50 cm)	Non éclairé câbles SES sur caniveaux
CHÊNE Ligne 736 PK 425,173 à 425,587	303/414	Alignement	15	5,30	Double exploitée unique au centre	Piédroits en brique du PM 0 à 29,5 le reste en moellons (épaisseur 1,20 m). Voûte en brique, béton projeté sur cer- taines zones (épaisseur 66 à 80 cm)	Niches éclairées câbles SES sur caniveaux

Tableau II
Caractéristiques des tunnels
Characteristics of tunnels

Situation ferroviaire
Railway situation



LES TRAVAUX (1^{RE} TRANCHE)

Principe des travaux

Le but de ces travaux est le renforcement de la capacité porteuse de la structure du tunnel (notamment en cas d'incident géologique).

La solution technique retenue est la confection d'une coque en béton projeté par voie sèche. La géométrie des tunnels permet la réalisation de cette coque en surépaisseur (10 cm) sans incidence sur le gabarit des circulations. Selon une étude réalisée conjointement par la SNCF, P RTP, CEBTP, CETU, CNRS-LCPC, Freyssinet International et BeKaert France, la capacité porteuse des ouvrages serait ainsi augmentée de plus de 5 fois.

De plus, cette solution est économique (le dixième du coût d'un ouvrage neuf) notamment en raison de :

- ◆ la facilité de mise en œuvre par standardisation de l'intervention ;
- ◆ la possibilité de fractionnement dans le temps ;
- ◆ l'influence limitée des travaux sur l'exploitation ferroviaire ;
- ◆ le maintien des gabarits.

Conditions d'exécution des travaux

Le faible trafic dans les tunnels de Monteils et Caylou a permis d'obtenir près de 6 h 00 d'interception de voie durant la journée.

Du fait du gabarit voie double et de la position excentrée de la voie dans les tunnels de Monteils et Caylou, l'entreprise pouvait travailler sur le côté non exploité, moyennant quelques dispositifs de sécurité, même hors interception de voie. Pour les trois autres tunnels, les interceptions de voies et les travaux ont dû impérativement se dérouler dans des périodes nocturnes et réduites (tableau I).

Choix du béton RIG (Résistance Initiale Garantie)

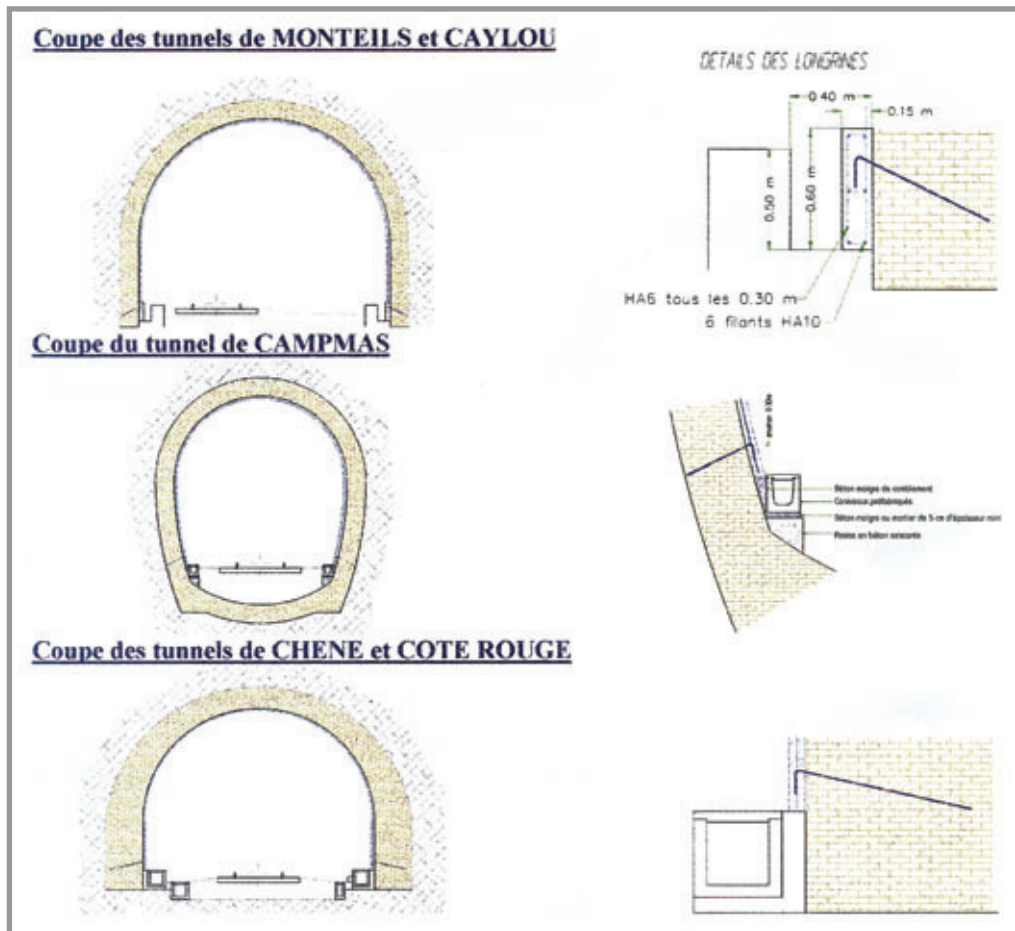
L'utilisation du béton RIG pour ce type de travaux est l'aboutissement de recherches menées par le Département des Ouvrages d'art SNCF à Paris en collaboration avec le principaux fournisseurs de béton. Ce produit répond aux exigences de la SNCF en matière de :

- ◆ qualité : travaux de structure avec fréquemment des phases provisoires, sur des sites difficiles (exigus, humides, froids, etc.) et pour lesquels le béton doit conserver ses qualités mécaniques (résistance, non fissuration) ;
- ◆ sécurité : passage des trains en toute sécurité seulement 1 heure après la projection en voûte ;
- ◆ régularité : technique permettant de limiter la vitesse des trains à 80 km/h au lieu de 40 km/h ha-



Photo 1
Hydrosablage - Hydrosablage

© Studio Barranco - Toulouse



Coupes des tunnels
Tunnel sections

bituellement et permettant des interventions de courte durée.

Caractéristiques des tunnels

Voir tableau II.

Réalisation des travaux

Le marché

Après appel d'offres, le marché de la première tranche (1997/1998) est adjugé à l'entreprise GTM Construction. Celle-ci propose une solution sans train de travaux, ce qui génère une économie non négligeable pour la SNCF.

Du fait de l'originalité de cette méthode, la première tranche a été elle-même scindée en deux :

- ◆ tranche ferme : Monteils et Caylou (environ 3000 m² de béton projeté) ;
- ◆ tranche conditionnelle : Campmas, Chêne et Côte Rouge (le solde soit 12000 m² de béton projeté).

Durant la tranche ferme, GTM Construction devait remplir deux critères pour démontrer l'efficacité de sa proposition de méthode :

- ◆ rendements de projection de béton supérieurs à 11 m²/h ;
- ◆ résistances à la compression du béton conformes aux exigences décrites dans le paragraphe "Contrôle".

Ces deux critères ont été validés rapidement.

L'utilisation des échafaudages mobiles sur rails permettait notamment à GTM Construction d'utiliser la totalité des interruptions de voies sans

perte de temps liées à l'amenée et au repli du train de travaux.

Exécution des travaux

Remplacement des caniveaux préfabriqués de type M32-12

Une surabondance de calcaire dans le tunnel de Campmas ne rendait pas possible le curage des caniveaux. Il a donc fallu les remplacer. Profitant de cette opération, une réservation pour la fibre optique a été mise en place.

Réalisation de longrines dans les caniveaux

Cette opération a été réalisée dans les tunnels de Monteils et Caylou et comprend : le curage des caniveaux, le curage et le prolongement des barbacanes (pour traverser la longrine), la confection d'une longrine en béton de section 50 x 15 cm ancrée tous les 60 cm dans la maçonnerie par des HA 16 scellés sur 70 cm.

Cette longrine assure la continuité de la coque projetée jusqu'en base de piédroit. La géométrie des autres tunnels permet de se dispenser de longrines. Néanmoins, la coque en béton projeté est ancrée à la maçonnerie existante de la même façon (ancrage HA Ø 16).

Décapage (photo 1)

Toutes les zones à projeter en béton RIG ont été décapées par hydrosablage, afin d'obtenir une surface saine permettant une bonne adhérence entre le béton et le support.

Un procédé basé sur la projection d'eau, de sable

Photo 2
Pose des panneaux
de treillis soudé

*Placing of welded
lattice panels*



© Studio Barranco - Toulouse

Photo 3
Projection
de béton RIG
RIG shotcreting



© Studio Barranco - Toulouse

► et d'air, sous une pression de 5 bars, a été utilisé pour ces tunnels (méthode de sablage humide).

Mise en place de bandes drainantes

L'eau percolant au travers des maçonneries est captée à l'aide de forages équipés de tubes crépinés type Filtrex série E (diamètre 50 mm), puis conduite en base de piédroit par l'intermédiaire de bandes drainantes de type Doerken delta PT. Les bandes drainantes sont espacées au minimum de 1 m bord à bord, afin de conserver une bonne adhérence de la coque sur le support.

Mise en place de panneaux reconstitués

(photo 2)

Pour faciliter leur mise en place, l'entreprise a fait fabriquer en usine des panneaux "reconstitués"

ayant les caractéristiques du treillis soudé de type P636R (maille de 100 x 300, Ø 9 mm), mais de dimensions adaptées au développé de chaque tunnel. Ils sont en partie cintrés en usine.

Les panneaux reconstitués sont fixés par l'intermédiaire de pattes métalliques chevillées ou "spit-tées" sur la maçonnerie. Ce dispositif permet de positionner solidement et très précisément le panneau. La mise en place des panneaux de voûte est réalisée à l'aide d'un gabarit fixé sur les échafaudages mobiles.

Projection de béton RIG (photo 3)

Le produit utilisé est le suivant :

◆ 0/8 S555 de Technia VPI, composé de CPA CEM1 52.2 PM ES CP2 dosé à 400 kg, granulats silico-calcaire 0/8, accélérateur Sica Sigunit F49.

Pour assurer une bonne épaisseur de coque (10 cm) des repères d'épaisseur sont fixés sur la brique à raison de 4/M2.

Le contrôle

Au moins une fois par semaine, un contrôle inopiné de résistance en compression du béton est réalisé. Six cubes de 10 cm d'arête sont écrasés à 3 heures, et six cylindres de 6 cm de diamètre à 28 jours après prélèvement dans deux blocs de 60 x 60 x 15 cm.

Les valeurs minimales de résistance à 3 heures avaient été fixées contractuellement à :

◆ 3 MPa pour une température de support supérieure à 10° C ;

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Etudes et suivi des travaux

Maitre d'ouvrage

Réseau Ferré de France (RFF)

Maitre d'ouvrage délégué

SNCF - Division Equipement de la Direction Régionale de Toulouse

Maitre d'œuvre

SNCF - Etablissement d'Equipement d'Albi

Titulaire du marché

GTM Construction Centre Midi-Pyrénées

Sous-traitance

- CEBTP - Centre d'études et d'essais de Toulouse : contrôle du béton RIG
- Vidanges Nouvelles : décapage par hydro-sablage
- Sud Forage : remplacement des caniveaux dans le tunnel de Campmas

Fournisseurs

- Mecsider SRL : panneaux reconstitués
- Technia VPI : béton RIG S555



Photo 4
Centrale
à béton
projeté
*Shotcrete
plant*



Photo 5
Enraillement
d'un échafaudage
mobile
*Placing of mobile
scaffolding on rails*

◆ 1,5 MPa pour une température de support inférieure à 10° C.
Les résistances à 28 jours doivent être de 25 MPa minimum.

Le matériel (photos 4 et 5)

◆ Centrale à béton :

- 2 pompes ALIVA A 262 pneumatiques,
- 1 bunker, 1 vis de relevage,
- 3 silos capacité 20 m³,
- 4 compresseurs Ecoair D100 11,8 m³/Min à 8 bars,
- 3 sécheurs d'air Ecoair SP 216,
- 1 surpresseur d'eau,
- 1 conduite à béton 60/80,
- 1 cuve à air 3000 l, 1 cuve à air 5000 l;

◆ 3 échafaudages mobiles;

◆ 1 manuscopie affecté :

- à la manutention,
- au nettoyage des rebonds de béton RIG;

◆ 1 groupe électrogène 640 KVA.

Les délais

Les équipes GTM Construction ont respecté tous les délais partiels et avaient même trois semaines d'avance sur le délai global.

ABSTRACT

Strengthening of five SNCF (French Railways) tunnels by RIG (Guaranteed Initial Strength) shotcrete lining. Brive to Toulouse line via Capdenac and Castelnauary to Rodez line

J.-L. Bonnet, J.-L. Rouquette, A. Coudret

The collapse of the Granejous tunnel in May 1995 led to works for strengthening the brick railway tunnels in the northeast sector of the Toulouse region. Following this unpredictable incident, a series of investigations (core drilling, georadar, etc.) were quickly carried out on all brick tunnels (these tunnels were all built around 1860) and led tunnel experts of the SNCF Structures Department to decide to upgrade the structures, selecting the zones to be treated and classifying them by order of urgency. A first operation was undertaken on the Monteils, Caylou, Granejous, Campmas, Chêne, and Côte Rouge tunnels.

Given the scope of these works, the adopted technical solution had to meet several objectives :

- safety : improvement in bearing capacity;
- technical : facility, speed of execution and possibility of phasing;
- commercial : limited influence of works on train traffic (limitation to 80 km/h, maintenance of gauges).

For these reasons, the choice naturally went to lining by concreting "with a Guaranteed Initial Strength" (French acronym RIG).

GTM Construction proposed a variant without works train to the SNCF.

This original method for a worksite with tracks in service met the quality and speed criteria (finishing three weeks ahead of scheduled completion).

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidación de cinco túneles de los Ferrocarriles Franceses (SNCF) por encamisado de hormigón proyectado RIG (de resistencia inicial garantizada). Líneas de Brive a Toulouse, vía Capdenac, y de Castelnauary a Rodez

J.-L. Bonnet, J.-L. Rouquette, A. Coudret

El hundimiento del túnel de Granejous, en mayo de 1995, ha dado lugar a las obras de consolidación de los túneles de los Ferrocarriles Franceses de ladrillos en la cuarta parte del noreste de la región de Toulouse. A raíz de este imprevisible accidente fue emprendida rápidamente una campaña de investigaciones (sondeos con extracción de testigos, georadar, etc.) para el conjunto de los túneles con bóveda de ladrillos (túneles que, en su totalidad, fueron construidos hacia 1860). Así, se decidió proceder a una restauración seleccionando las zonas a tratar y clasificándolas según un orden de urgencia. Una intervención preliminar fue emprendida en los túneles de Monteils, Caylou, Granejous, Campmas, Chêne y Côte Rouge.

Habida cuenta de la importancia de estas obras, la solución técnica adoptada debía corresponder a diversos objetivos :

- de seguridad : refuerzo de la capacidad sustentadora;
- de carácter técnico : facilidad, rapidez de implementación y posibilidad de fraccionamiento en el tiempo;
- comerciales : influencia limitada de las obras con respecto a las circulaciones de los trenes (limitación a 80 km/h, mantenimiento de los gálibos de paso).

Por tales motivos, la opción más adecuada ha correspondido, naturalmente, al encamisado por proyección de hormigón "de resistencia inicial garantizada" (RIG).

GTM Construction ha propuesto a los Ferrocarriles Franceses (SNCF) una variante sin tren de obras. Este método inédito al tratarse de vías sin interrupción del servicio, ha permitido respetar los compromisos de calidad y rapidez (con tres semanas de antelación de la fecha final de acabado global).

Réparation d'un pont

Le pont de Mirepoix-sur-Tarn

Le pont de Mirepoix est un ouvrage, à une travée suspendue de 152,10 m de portée. Il supporte une chaussée de 5,00 m de large et deux trottoirs de 0,80 m chacun. En 1995, le calcul de portance des massifs d'ancrage a conclu à leur instabilité à vide. Aussitôt la limitation de tonnage est passée de 19 t à 12 t. Les travaux de réparation ont concerné :

- les deux massifs d'ancrage;
- le tablier béton;
- les culots (fragiles à froid) de suspension;
- des attaches de suspentes;
- les appareils d'appuis;
- un réglage général de l'ouvrage (suspension et suspentes).

Les travaux de renforcement sur les massifs d'ancrage ont été effectués sans décharger même partiellement les massifs en place. Les culots existants, ont été remplacés par des pièces mécano-soudées. Pour cela l'entreprise a créé une "mordache" permettant de relier mécaniquement un câble aux autres de la même nappe.

A l'aide de cette pièce chaque câble pouvait successivement être détendu dans la zone de retenue tout en restant en tension dans la travée suspendue.



Photo 1
Vue générale depuis la rive
General view from bank



Photo 2
Vue du Tarn
depuis un pylône
View of Tarn
from a tower

■ PROJET

Présentation de l'ouvrage actuel

Reconstruit en 1931 par l'entreprise Baudin Chateaufort à l'emplacement d'un ancien pont suspendu détruit par les crues du Tarn de 1930, l'actuel

pont suspendu de Mirepoix permet le franchissement du Tarn par RD 71 (photos 1 et 2).

Il s'agit d'un ouvrage à une travée suspendue de 152,10 m de portée, supportant une chaussée de 5,00 m de large et deux trottoirs de 0,80 m chacun.

L'ossature métallique du tablier est constituée de :

- ◆ 2 poutres de rigidité en treillis Warren;
- ◆ 40 pièces de pont au droit des suspentes;
- ◆ 6 longerons en I incorporés et connectés à la dalle de béton formant hourdis.

La suspension comprend par ferme :

- ◆ 6 câbles continus de 75 mm de diamètre en nappe unique horizontale;
- ◆ 12 culots en fonte;
- ◆ 40 tiges de suspension espacées de 3,70 m en rond filetés Ø 40 mm.

Les culées à parement imitation brique sont rehaussées et couronnées par un chevêtre en béton armé. Les pylônes sont en treillis métallique.

A l'origine l'ouvrage était limité à 19 t. En octobre 1995, il fut réduit à 12 t compte tenu du mauvais état général de l'ouvrage (forte dégradation), révélé par une étude de portance réalisée en juin 1994 par la division Ouvrages d'art du CETE Sud-Ouest.

"Recalcul" et investigations géotechniques

Calcul de portance

Un "recalcul" avait été fait par le CETE de Bordeaux en 1994 à partir du dossier d'ouvrage existant. Il avait mis en évidence, par partie d'ouvrage, les capacités de portance suivantes :

- ◆ les câbles, les pylônes et les longerons étaient largement dimensionnés et acceptaient les charges réglementaires sans limitation de tonnage;
- ◆ les poutres de rigidité acceptaient les sollicitations développées par les surcharges de poids total en charge ≤ 19 t;
- ◆ les suspentes, les pièces de pont et la dalle en béton armé acceptaient les sollicitations développées par les surcharges de poids total en charge ≤ 12 t;
- ◆ les éléments du dossier concernant les massifs d'ancrage conduisaient à une insuffisance de stabilité dans l'ouvrage à vide;
- ◆ pour les fondations des pylônes l'absence d'éléments géotechniques au dossier d'ouvrage ne permettait pas de conclure à la capacité portante de ces appuis.

suspendu sur le Tarn en Haute-Garonne

André Coudret

GTM CONSTRUCTION
Directeur du Centre
Midi-Pyrénées



Investigations géotechniques et calcul de stabilité des massifs

Une campagne de sondages au droit des massifs d'ancrage avait été réalisée par Fondasol en novembre 1994 et janvier 1995. A la suite de ces sondages, le CETE avait repris les calculs de stabilité des massifs et conclu de la manière suivante : "il est impossible de justifier un niveau de sécurité réglementaire pour les massifs".

Un des massifs avait bougé à une époque inconnue, antérieure à 1978, mais ne semblait pas s'être déplacé depuis.

Solutions de réparation

Le renforcement de l'ouvrage pouvait être différent suivant les cas de limitation de charge. Le recalcul avait montré que :

- ◆ les poutres de rigidité sont limitées à 19 t ;
- ◆ les suspentes, les pièces de pont et la dalle en béton armé sont limitées à 12 t ;
- ◆ les massifs d'ancrage ne sont pas stables réglementairement à vide.

Le maintien de la limitation à 12 t (limitation actuelle depuis octobre 1995) nécessite, pour être réglementaire, le renforcement par clouage des massifs d'ancrage ainsi que les travaux d'entretien décrits ci-après :

Cette limitation correspond à la prise en compte dans les calculs :

- ◆ du passage de deux camions de 12 t, (en file) ;
- ◆ du croisement exceptionnel de deux camions de 12 t, (en montant sur les trottoirs) ;
- ◆ du passage exceptionnel d'un camion isolé de 19 t.

La limitation à 19 t aurait nécessité en outre :

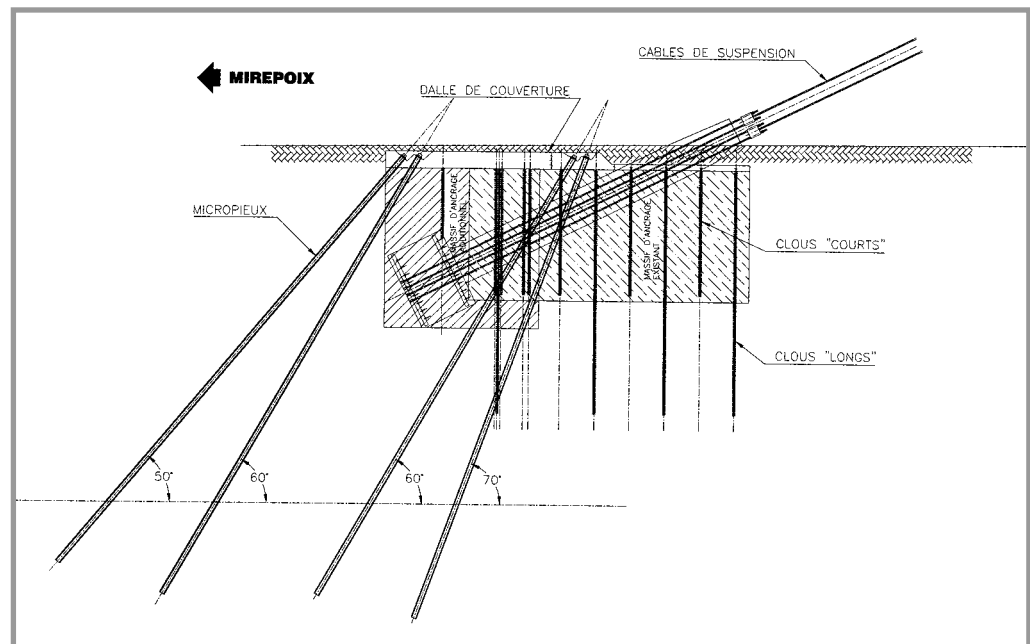
- ◆ le changement des suspentes ;
- ◆ le renforcement des pièces de pont, nécessitant la démolition de la dalle puis sa reconstruction.

Des mesures extensométriques étaient nécessaires sous chargement pour apprécier la capacité portante. Cette limitation correspondait à la prise en compte dans les calculs :

- ◆ du passage de deux camions de 19 t, (en file) ;
- ◆ du croisement exceptionnel de deux camions de 19 t, (en montant sur les trottoirs) ;
- ◆ du passage exceptionnel d'un camion isolé de 30 t.

La levée complète de la limitation de tonnage aurait nécessité, en plus des travaux ci-dessus, un renforcement des poutres de rigidité.

Les deux dernières solutions ont été abandonnées au profit de la solution "limitation à 12 t" (deux ca-



mions de 12 t sur l'ouvrage et autorisation de passage pour un seul véhicule de 19 t).

TRAVAUX

Le renforcement des massifs d'ancrage

Le calcul montrait qu'il fallait renforcer les deux massifs d'ancrage même à vide. Les désordres repérés mettent en cause la stabilité du massif d'ancrage rive gauche, ce massif a été "cloué" aux terrains sous-jacents reconnus. Bien qu'aucun désordre n'apparaisse sur le massif rive droite, il a été toutefois procédé à son clouage (à l'identique du massif rive gauche). Par massif, furent réalisés :

- ◆ 29 clous "courts" internes aux massifs destinés à régénérer leur monolithisme ;
- ◆ 16 clous "longs" scellés de 4,00 m dans le terrain sous-jacent, qui participaient également à la reprise des efforts de cisaillement ;
- ◆ 22 micropieux inclinés sur quatre files capables de reprendre les efforts à l'arrachement dus aux surcharges ;
- ◆ une dalle de couverture générale servant de répartition aux efforts repris par les clous et micropieux (figure 1).

Les massifs ne devant jamais être déchargés même très partiellement, la difficulté principale de ces travaux était le phasage. L'entreprise a retenu le principe suivant pour chaque massif :

Figure 1
Renforcement des massifs d'ancrage par micropieux et clous. Coupe transversale du massif

Reinforcement of anchoring blocks by micropiles and nails. Cross section of block

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Conseil général de Haute-Garonne

Maitrise d'œuvre

DDE de Haute-Garonne - CDOA

Bureau de contrôle

Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) du Sud-Ouest

Entreprise

GTM Construction, centre Midi-Pyrénées

Sous-Traitants

- Ingerop Sud-Ouest (études d'exécution)
- Semi (études de méthodes)
- Cofex (micropieux, tirants)
- Fargamel (culottages)
- Eurovia (chaussée)

Montant du marché

7 823 000 F HT

Figure 2
Coupe transversale
du tablier
après travaux
*Cross section
of deck after works*

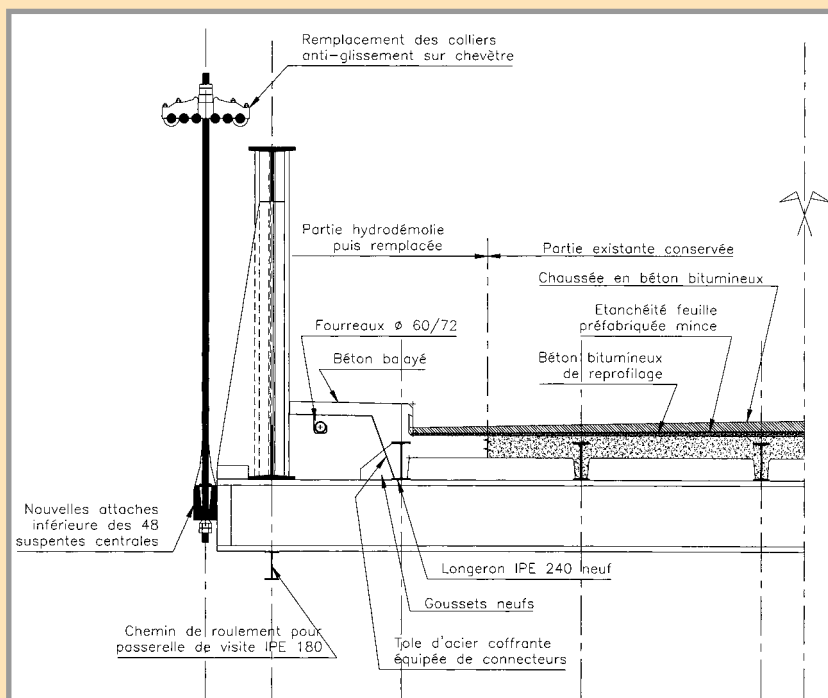
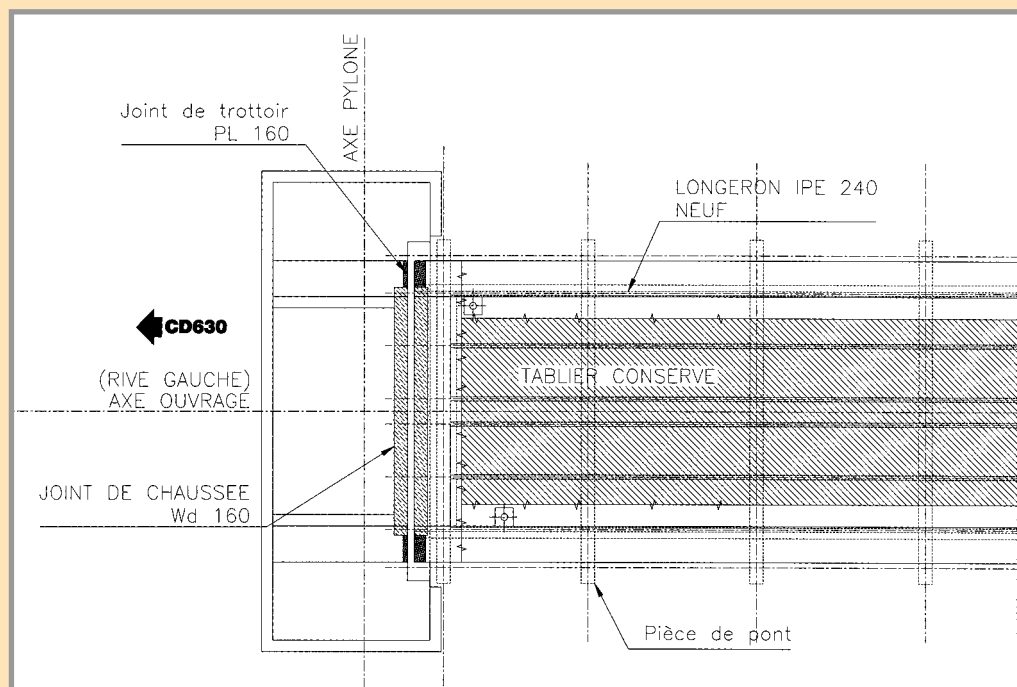


Figure 3
Vue en plan du tablier après travaux
Plan view of deck after works



- ◆ réalisation depuis la chaussée en place de tous les clous et micropieux "à l'aveugle" (avec toutes les difficultés d'implantation de micropieux inclinés sur une surface de béton non définie précisément en altitude);
- ◆ terrassement et réalisation d'une longrine de tête des micropieux;
- ◆ terrassement général du massif et réalisation de

la dalle de couverture générale (en intégrant les deux longrines).

Bien que les micropieux aient été calculés comme des tirants passifs, un effort de 10 t a été appliqué sur chacun d'eux. Cette précaution était destinée à mobiliser les efforts dans les micropieux avant tout déplacement éventuel d'un massif d'ancrage.

Les travaux sur le tablier BA

Après rabotage de la couche de roulement, les trottoirs et les parties extérieures de chaussée ont été détruites par hydrodémolition (figures 2 et 3). Les deux longerons extérieurs ont été changés en conservant toutefois les aciers boulonnés qui les traversaient puis en les revissant dans les longerons neufs. Les trottoirs ont été reconstruits pour répondre aux règlements actuels avec dérogation toutefois sur la position de la roue isolée de 6 t (cf. fascicule 62).

De plus les aciers apparents en sous-face du tablier ont été passivés et les zones de béton dégradés ont été ragréés.

Les travaux sur le câblage de suspension

Les culots des câbles de suspension étaient en fonte, donc fragiles à froid. L'opération de changement des culots nécessite la détente de ces derniers, tout en maintenant tendu le câble porteur principal dans les zones de suspente.

Détente des câbles de suspension et transferts de charge

Pour maintenir la tension d'un câble porteur dans la zone de suspension, le plus simple est de relier mécaniquement ce câble à ses voisins par un dispositif approprié. A la détente, il se crée une légère surtension dans la partie libre des autres câbles et aucun changement dans les zones de suspente. L'absence de surcharge sur l'ouvrage pendant cette phase permet cet artifice. Compte tenu de la déviation des câbles entre le massif d'ancrage et la tête de pylône où les câbles passent en nappe, pour simplifier la conception et la mise en place des mordaches, il convenait de positionner ce dispositif au plus près de la tête du pylône.

La conception de la mordache permettait une mise en place pour la totalité de la nappe et, sans aucune intervention ultérieure, de pouvoir libérer successivement et par paire les câbles.

L'efficacité du serrage de la mordache est fonction de l'angle que font les mors avec les câbles. Il a été choisi un angle de 60° qui permet pour un effort de serrage de N de mobiliser 2 N sur chaque face du câble. Cette disposition constructive associée à un sablage de surface en contact permet une efficacité maximale au serrage.

Transversalement, le dispositif était conçu avec

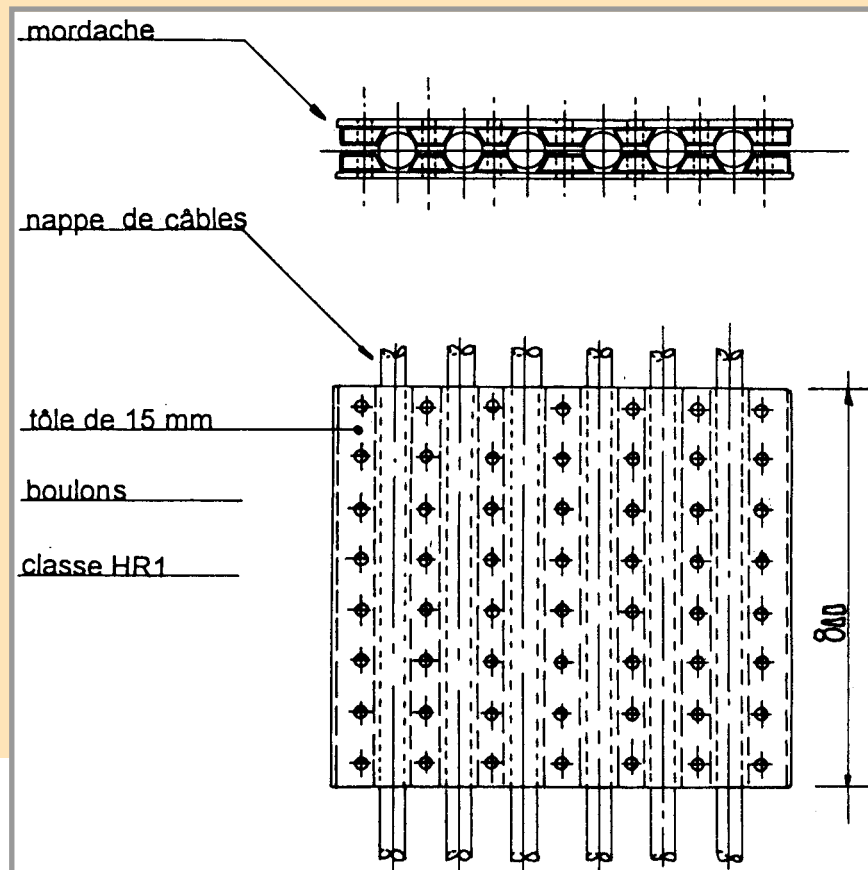


Figure 4
Mordache
Jaw

une tôle de 15 mm, permettant de s'adapter à de petits écarts de géométrie (figure 4).

Le dispositif ainsi conçu a été réalisé de manière simple en mécano-soudure et usinage. La boulonnerie utilisée est de la boulonnerie courante en classe HR1 (photo 3).

La détente des culots (effort d'environ 100 t) s'est faite avec un dispositif prenant appui sur une prolongation des tiges d'ancrage et exerçant un effort sur le culot lui-même pour permettre le desserrage des écrous de retenue et la libération progressive de cet effort : le système se compose d'une sorte de "portemanteau" ancré au câble pour éviter tout mouvement et permettre le passage des tiges de prolongation passant dans quatre vérins creux reliés hydrauliquement (figure 5). Pour éviter toute déviation angulaire de la mordache (notamment à la détente d'un câble sur l'extérieur de chaque nappe) nous avons détendu les câbles deux par deux symétriquement (photo 4).

Après détente les câbles étaient ensuite retendus à leur tension d'origine.

Remplacement des culots

Les câbles étant détendus, les culots pouvaient être changés. Pour cela, un sous-traitant spécialiste est intervenu pour réaliser :

- ◆ la coupe du câble ;
- ◆ l'enfilage du culot neuf ;
- ◆ l'épanouissement des torons constitutifs du câble ;



Photo 3
Serrage d'une mordache
depuis la nacelle

Clamping of jaw
from the cradle

Photo 4
Transfert de charge
sur câble de suspension
Load transfer
on suspension cable



Figure 5
Détendeur de culots
Cap relief device

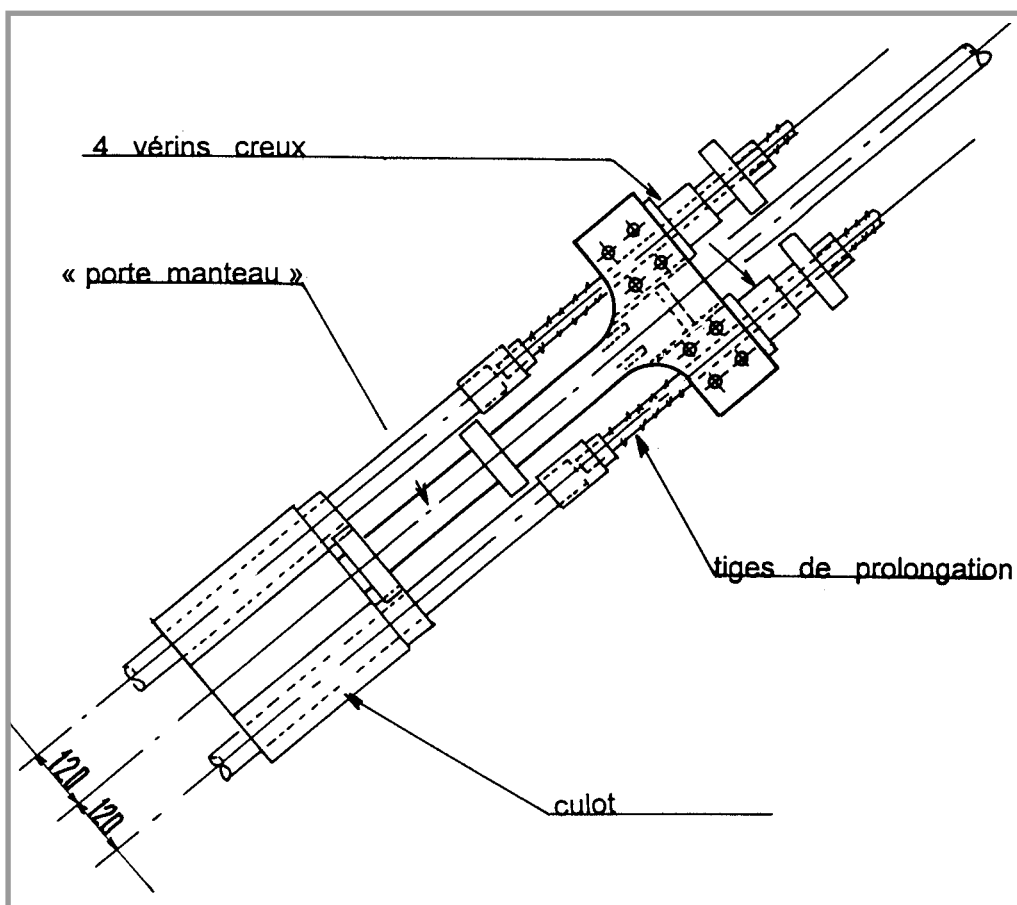


Photo 5
Culottage au zinc
Zinc capping

◆ le chauffage et coulage du zinc (photo 5).
 Après refroidissement (≈ 12 heures) les câbles purent être retendus avec les culots neufs.

Réglage de la suspension

Une fois la mordache déposée, l'entreprise s'appliquait au réglage des tensions à des valeurs identiques pour les six câbles d'une même nappe. Ce réglage, à la moyenne des tensions existantes, utilisait le dispositif de détendeur de culots.

Les travaux sur les suspentes

Sur les suspentes les travaux consistaient à :

- ◆ la détente et à la dépose des suspentes (quatre cycles par ferme pour une suspente sur quatre) ;
- ◆ au sablage et à la mise en peinture des suspentes et de la zone de câble de suspension sous les chevalets d'appui des suspentes ;
- ◆ au changement de 48 attaches basses ;
- ◆ à la repose et remise en tension à l'identique ;
- ◆ au réglage final des tensions par nappe (amont/aval) de 40 suspentes.

Pour réaliser la dépose des suspentes, il fallait donc pouvoir libérer l'effort dans la jonction de la suspente à la traverse de l'ouvrage et permettre le

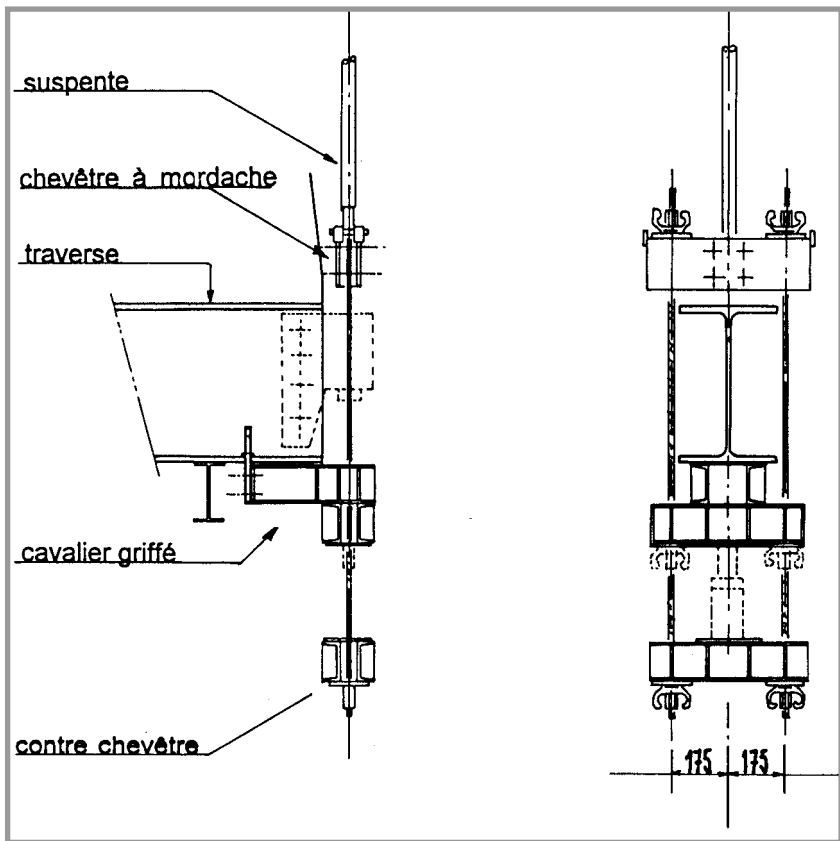


Figure 6
Chevêtre provisoire
Temporary header

démontage de ces pièces de liaison pour leur remplacement partiel (48 attaches).

Un système a été conçu avec un chevêtre à mordache sur la barre existante, et un cavalier griffé en console sous les traverses de l'ouvrage.

Un contre-chevêtre sous les griffes d'accrochage permettait la mise en tension du système et le démontage de la liaison existante (figure 6). Ce système permettait également la pesée et le réglage final des tensions dans les suspentes.

Les autres travaux

Un décapage à blanc de toutes les parties métalliques du système de suspension, pylônes et ossature métallique du tablier a permis de définir des parties métalliques à changer ou à réparer.

Les appareils d'appuis "rudimentaires" existants ont été changés au profit d'appareils d'appui neufs :

- ◆ bielles et butées latérales en rive gauche (côté mobile);
- ◆ bielles et pivot central en rive droite (côté fixe).

Des joints de chaussée de soufflé 150 mm côté mobile et 50 mm côté fixe ont été mis en place.

Enfin la passerelle de visite a été changée ainsi que son chemin de roulement.

ABSTRACT

Repair of a suspension bridge over the Tarn. Mirepoix-sur-Tarn bridge in the Haute-Garonne region

A. Coudret

The Mirepoix Bridge has a suspended section with a span of 152.10 m. It supports a carriageway 5 m wide and two footpaths 0.80 m wide each. In 1995, anchoring block bearing capacity calculations found them to be unstable when not loaded. The tonnage limit was immediately reduced from 19 to 12 t. Repair works covered :

- the two anchoring blocks;
- the concrete deck;
- the suspension caps (fragile at low temperature);
- suspender attachments;
- bridge bearings;
- general adjustment of the structure (suspension and suspenders).

Reinforcement works on the anchoring blocks were carried out without even partial unloading of the blocks in place. The existing caps were replaced by fabricated steel parts. For this purpose, the contractor created a jaw allowing the mechanical connection of one cable to the others in the same layer.

By means of this part, each cable can be relieved successively in the retaining zone while remaining under tension in the suspended span.

RESUMEN ESPAÑOL

Reparación de un puente colgante sobre el río Tarn. El puente de Mirepoix-sur-Tarn, en Haute-Garonne

A. Coudret

El puente de Mirepoix está constituido por un tramo colgante de 152,10 m de luz y soporta una calzada de 5,00 m de anchura y dos banquetas de 0,80 m cada una. En 1995, el cálculo de sustentación de los macizos de anclaje permitió demostrar su inestabilidad en vacío. La limitación del tonelaje disminuyó inmediatamente de 19 t a 12 t. Las obras de reparación se han referido a :

- los dos macizos de anclaje;
- el tablero de hormigón;
- las culatas de suspensión (frágiles en frío);
- los nudos de los cables de suspensión;

- los aparatos de apoyo;
- una regulación general de la estructura (suspensión y cables de suspensión).

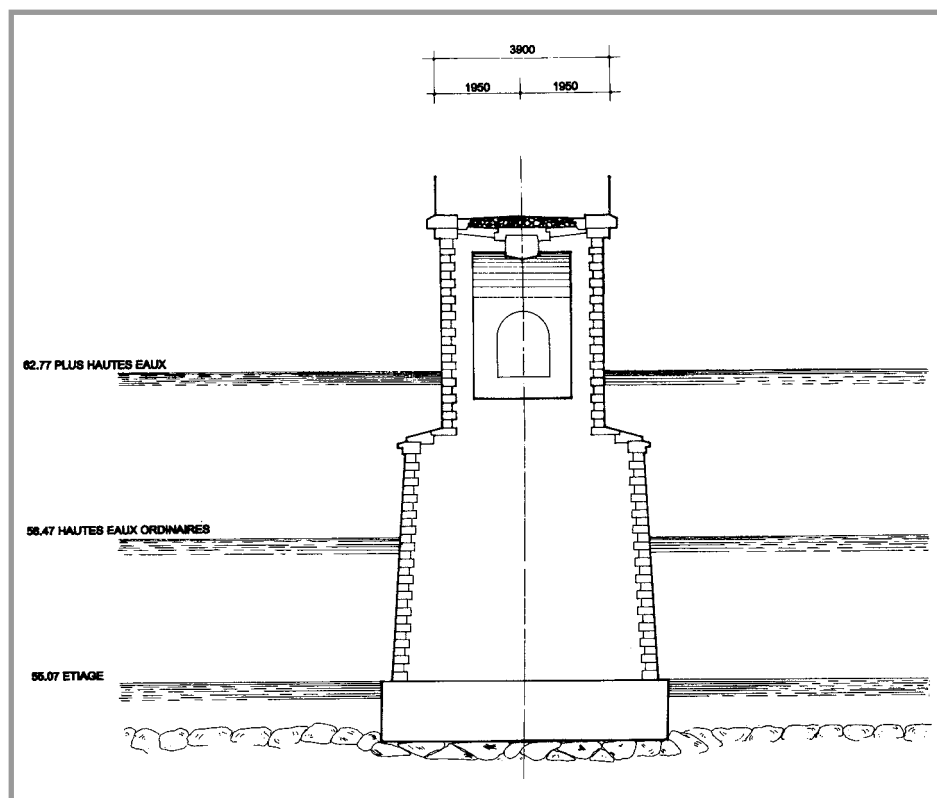
Los trabajos de consolidación de los macizos de anclaje se han efectuado, incluso sin descargar parcialmente los macizos existentes. Las culatas existentes se han sustituido por piezas soldadas. Para tal fin, la empresa ha creado una "mordaza" que permite conectar mecánicamente un cable a los demás de la misma capa.

Por medio de esta pieza, cada cable podía sucesivamente, ser aflojado en la zona de retención pero, al mismo tiempo, permaneciendo en tensión en el tramo colgante.

L'élargissement du en Dordogne

Nichée au cœur de la vallée de la Vézère – classée Patrimoine mondial – Les Eyzies est considérée comme capitale de la Préhistoire et reçoit plus de 400 000 visiteurs par an. Le franchissement côté nord était assuré par un pont en maçonnerie d'environ 80 m de long à trois arches elliptiques de 20 m d'ouverture chacune. Ce pont très étroit – moins de quatre mètres – avait fait l'objet d'un premier élargissement à 6,50 m dont 4,50 m de chaussée. Cette largeur étant insuffisante il a été décidé de porter la largeur à 6,50 m pour la chaussée et à 2,30 m pour le cheminement piétons. Des investigations complètes et des études soignées ont conduit à la réalisation d'un élargissement par dalle générale béton armé réservé aux seuls véhicules et par passerelle-bois latérale portée par des consoles et ayant un profil en long "ondulé". L'ouvrage ainsi rénové a été inauguré en juin 1999.

Coupe sur l'ouvrage d'origine
Section on original structure



La commune des Eyzies, dans le département de la Dordogne, est implantée le long de la Vézère, non loin de sa jonction avec la grande Beune. Ce site, mondialement connu des chercheurs comme "capitale de la préhistoire", se trouve être le long de la falaise où ont été mis en évidence de nombreuses traces des époques paléolithiques. A environ 60 km au sud-est de Périgueux, sur la RD47 qui relie la préfecture de la Dordogne à la ville de Sarlat, Les Eyzies est très visitée. En effet, elle accueille chaque année, au cours de l'été, environ 160 000 visiteurs dans son musée qui fait l'objet d'un nouveau développement.

Le pont des Eyzies franchit la Vézère en venant de Périgueux. Il a été construit en maçonnerie de pierre à la fin du XIX^e siècle. Ne correspondant plus aux normes de sécurité requises par le trafic moderne de la fin du XX^e siècle, le Conseil général de la Dordogne a, en 1992, souhaité élargir le tablier, conforter ses fondations, créer des passages piétons pour permettre à la RD 47 d'accueillir sans difficulté les véhicules qui circulent sur ce pont, alors gênés par son étroitesse.

Dans ce contexte, les services techniques du Conseil général se sont adressés dans un premier temps à son expert habituel, le CETE du Sud-Ouest. Après une première étude, il a proposé diverses solutions

techniques de confortation des fondations et d'élargissement de l'ouvrage par la création d'une dalle en béton armé reposant sur les tympans de l'ouvrage, avec de chaque côté des encorbellements. Le CETE a cependant indiqué que vu la position de l'ouvrage, une étude architecturale était très souhaitable avant de mener plus avant les investigations.

Après examen de diverses candidatures, j'ai été invité à me présenter devant les personnes chargées de réaliser les travaux d'élargissement et fut retenu comme architecte de cette opération.

■ DESCRIPTION DE L'OUVRAGE D'ORIGINE

Le pont des Eyzies sur la Vézère est un pont maçonné de trois arches elliptiques de 20 m d'ouverture. La longueur totale du pont est de 78,00 m, réparti comme suit, d'une extrémité de culée à l'autre : 7,00 m - 20,00 m - 2,00 m - 20,00 m - 2,00 m - 20,00 m - 7,00 m. La largeur des deux piles en rivière est de 2,00 m à la naissance de la voûte et va en s'élargissant à 2,30 m au niveau des fondations situées 3,00 m en dessous.

Les trois voûtes ont une épaisseur de 85 cm à la clé. Les culées massives ont une longueur de 7,90 m, s'élargissant de 90 cm sous le niveau du sol.

Les voûtes ne sont pas recouvertes de terre comme dans les ponts anciens, mais de piédroit pris dans les tympans qui se transforment également en arcs. Nous avons donc quatre ensembles de cinq petites voûtes en plein cintre de 1,70 m et 2,00 m de diamètre de part et d'autre de trois arches du pont.

Le corps de l'ouvrage est creux. Ces cinq petites voûtes en maçonnerie ont une épaisseur de 35 cm sur laquelle on trouve le corps de la chaussée constitué de grave ciment, de graviers roulés et la couche de roulement. La pente générale de l'ouvrage est de 0,015/1000 de la rive gauche vers la rive droite. Les fondations ont une épaisseur de 1,50 m et s'appuient sur le rocher calcaire, qui se trouve au fond de la Vézère.

En coupe transversale à la clé, l'ouvrage se présentait comme suit :

- ◆ deux trottoirs de 0,55 ;
- ◆ une chaussée à double sens de 2,80 m.

Les tympans maçonnés ont une épaisseur de 0,80 m et le corps de l'ouvrage entre les tympans est vide, accessible par un trou d'homme situé sur l'axe des



pont des Eyzies

pires, des culées et de la chaussée. Les quatre ensembles de cinq petites voûtes sont donc visitables. En plan, l'ouvrage avait donc une largeur de 3,60 m hors garde-corps et de 3,90 m d'une extrémité de corniche à l'autre. Au niveau des extrémités des culées, et de chaque côté du pont, l'ouvrage s'élargit progressivement et passe de 3,60 à 5,60 m de largeur. Cet élargissement est légèrement courbe en vue de dessus. Les deux piles présentent des avant et arrière-becs arrondis selon un rayon de 1,00 m. Les piles sont fruitées avec un fruit de 0,05/1000. La saillie des piles, par rapport aux tympans, est de 1,00 m.

Le garde-corps a un dessin typique de ceux construits fin du XIX^e. En métal, constitué de plats de 27 x 7 mm, il est implanté tous les 130 mm par panneaux de 1,466 m. Un poteau constitué d'un tube plein de 30 x 34 mm scellé dans la corniche assure la résistance du garde-corps. Deux lisses basses et hautes, faites par des lisses de 34 x 12 mm, lient les barreaux. Des plats en forme de demi-cercles solidarisent les barreaux aux lisses. La main courante est constituée d'un demi rond de 50 x 22 mm.

Sous la corniche d'une épaisseur de 27 cm des modillons de 28 x 18 cm sont placés tous les 23 cm. De chaque côté de la culée des 1/4 de cône maçonnés assurent la transition avec le remblais et le talus qui soutiennent la chaussée de la voûte, talus dont la pente est à 3/2 sur une hauteur d'environ 7,50 m.

Les parements

Les voûtes sont en pierre calcaire appareillées radialement. Le tympan est appareillé en "opus incertum". Au droit de chaque pile, un oculus exprime en élévation la structure élégie du pont et ses arcs secondaires supprimant le remblais de remplissage. L'oculus a pu être réalisé en un deuxième temps, et n'est pas indiqué dans les plans d'origine. Corniche et modillon sont en pierre calcaire. Les piles sont également en pierre, appareillées du même type.

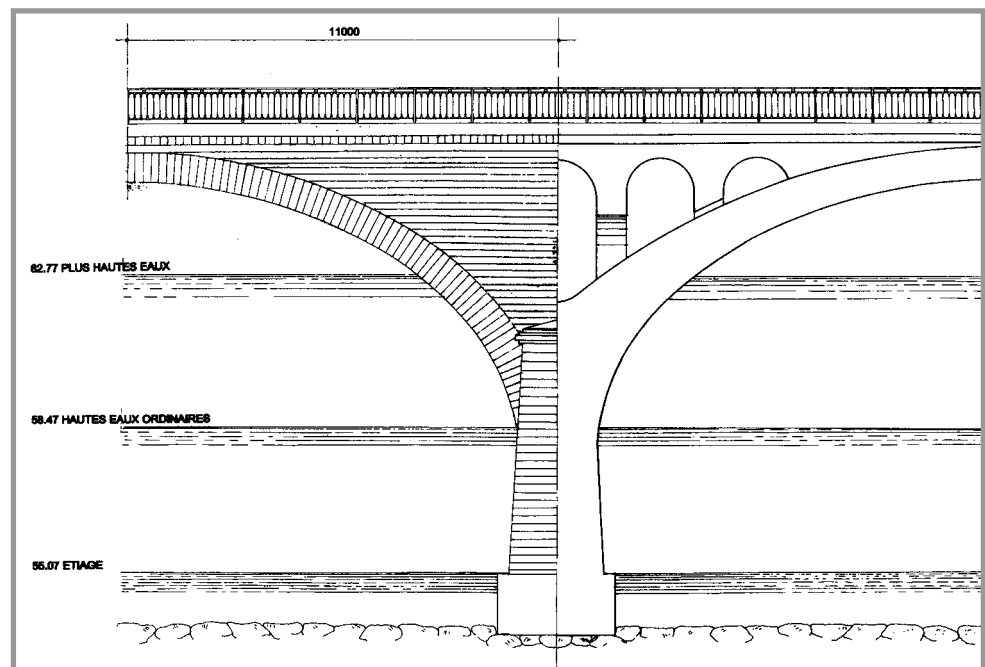
Niveaux des eaux de la Vézère

Le niveau des eaux à l'étiage est de 55,07 m. Le niveau des hautes eaux ordinaires est de 58,47 m. Les plus hautes eaux sont de 62,77 m. La cote de dessous de la clé se situe à 65,07 m. La cote du niveau des berges se situe à 59,07 mètres.

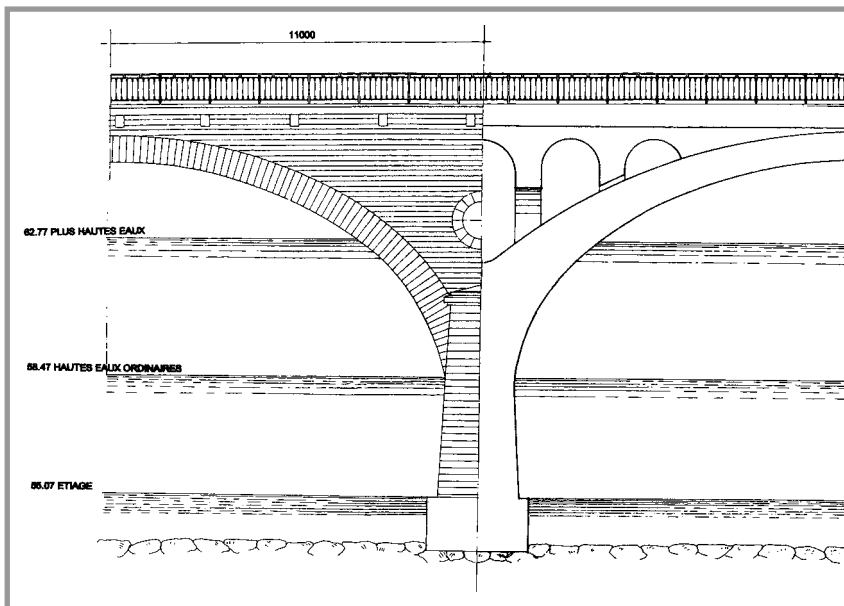


Vue aval d'ensemble de la passerelle
Overall downstream view of footbridge

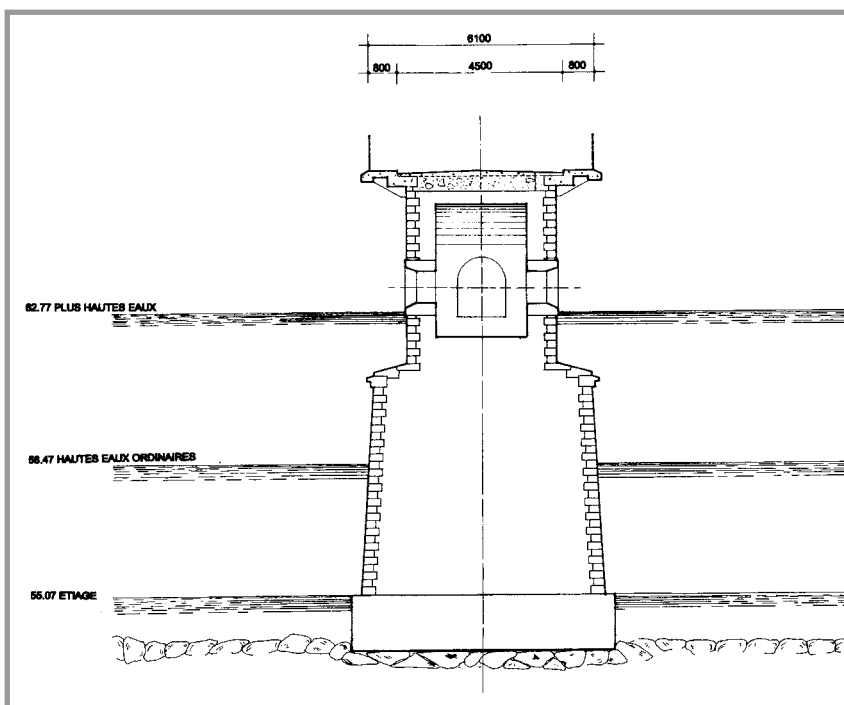
Elévation de l'ouvrage d'origine
Elevation of original structure



Élévation de l'ouvrage modifié
Elevation of modified structure



Coupe sur l'ouvrage modifié
Section on modified structure



LE PREMIER ÉLARGISSEMENT, L'ÉTAT EN 1992

Un premier élargissement, vraisemblablement effectué au début du XXe siècle, a porté la largeur du pont de 3,90 m à 6,50 m hors tout, réparti comme suit :

- ◆ deux trottoirs de 0,80 m ;
- ◆ une chaussée bidirectionnelle de 4,50 m.

L'élargissement a été réalisé grâce à des consoles en béton armé, s'appuyant sur les tympans. C'est l'état dans lequel nous avons découvert ce pont en 1992. Les maçonneries présentaient un bon état mais nécessitaient un ravalement.

L'ouvrage dans son site

Le pont se situe dans un site inscrit à l'inventaire des monuments historiques. Les travaux ont dû être présentés à plusieurs reprises aux services des Bâtiments de France.

Programme des travaux

Le Conseil général a souhaité élargir l'ouvrage et le porter à une largeur de chaussée de $2 \times 3,25 = 6,50$ m, plus deux trottoirs de $2 \times 1,15 = 2,30$ m minimum. Soit une largeur totale d'environ 8,80 m utiles, auquel on ajoute les épaisseurs des garde corps, soit environ 9,80 m au total. Le Conseil général a également souhaité mettre l'ouvrage en valeur par un ravalement de ses maçonneries, un balisage et l'éclairage de l'ouvrage.

LE PARTI ARCHITECTURAL PROPOSÉ

On retiendra deux idées essentielles :

- ◆ séparation des flux.

A partir de l'ouvrage existant, il a été proposé de réaliser une séparation des flux voitures et piétons afin de bien les isoler et d'éviter toute possibilité de gêne entre eux. La route départementale, se prolongeant sur le pont des Eyzies, et les cheminements piétons placés en amont, permettent de prolonger les trottoirs existants et de bien faire passer les véhicules. La sécurité devrait être accrue et le mouvement des piétons facilité ;

- ◆ un profil en long ondulé pour le passage piétons.
- Afin de bien respecter les arches elliptiques de l'ouvrage d'origine, de bien les mettre en valeur, de laisser voir les oculi et la structure élégie de l'ouvrage du XIXe siècle, nous avons proposé un profil en long pour le passage des piétons qui soit dérivé de l'ellipse.

Cette disposition pouvait se réaliser par la réalisation d'une dalle en béton armé d'une largeur de 7,32 m environ. Elle comporte une chaussée de 6,50 m ($2 \times 3,25$) et deux bordures de trottoirs T1 de 12 cm de large. De chaque côté, on a placé un mur barrière de sécurité de 29 cm d'épaisseur (revêtu de pierre dure de 10 cm d'épaisseur). Soit au total une largeur de 7,32 m.

L'épaisseur de la dalle est de 31 cm avec un profil en travers en toit, et une pente de 2,5 % vers les côtés. Un fil d'eau de chaque côté assure l'écoulement des eaux, en forme de caniveau porphyré. Le passage piétons est constitué de deux poutres longitudinales en Bois Lamellé Collé de type Pin Sylvestre traité. Il reçoit un double platelage en bois dur de type azobé fixé sur des longerons en Iroko. Le premier platelage est en pin traité recouvert de zinc pour la protection des deux poutres porteuses. Les deux poutres longitudinales positionnées à

1,98 m l'une de l'autre ont une section variable en hauteur de 1,05 x 16 cm sur les consoles à 63 x 16 à la clé.

En profil en long, ces deux poutres sont dessinées sur un rayon de 27,64 m à l'axe suivi d'une pente unique de 10 % sur 5,50 m et d'un rayon de 27,64 en sens inverse. De la sorte, ces deux poutres dégagent les voûtes et permettent de descendre et remonter selon que l'on est à la clé ou au dessus des piles.

Un jeu ludique émerge entre la rivière et le passage piéton qui met en valeur l'ouvrage et la passerelle.

Après examen du projet par la commission des sites, il a été imposé de placer le passage piétons en aval du pont, du côté de la commune des Eyzies pour qu'elle ne soit pas visible en venant de Périgueux.

La commission de sécurité du Département, dont le but est de faire respecter la réglementation P.M.R. (personnes à mobilité réduite) en vigueur, a reconnu les études et efforts faits pour limiter les glissades et a accepté le projet, après mise au point.

Les garde-corps ont été conçu à partir de poteaux en azobé de section 10 x 10 x 138 cm avec une main courante en azobé de section 15 x 8 cm. Entre les montants, des panneaux de métal constitués de deux plats de 60 x 4 mm, et trois lisses tubulaires de 20 mm de diamètre ainsi qu'un ensemble grillagé en métal déployé ont été soudé sur les plats. Les poteaux en azobé sont fixés sur la poutre extérieur en B.L.C. et protégés par un plat en forme de U en acier galvanisé boulonné sur la poutre. Au niveau du platelage supérieur un vide apparaît à l'extérieur de chaque poteau.

Entre les deux poutres principales des entretoises assurent la liaison. Le garde-corps dépasse le profil en long de 105 cm sur les entretoises. Deux longerons en Iroko soutiennent le premier platelage en pin. Les tasseaux sont recouverts de zinc. Les solives longitudinales reçoivent le platelage de marche en azobé strié de 5 cm d'épaisseur.

Traitement anti-glissement

Les dispositifs suivants sont prévus :

- ◆ lames d'azobé d'épaisseur 5 cm et de largeur 17,9 cm, longueur 2,65 m joint entre lames 1 cm ;
- ◆ rainures de 5 mm de profondeur x 7 mm.

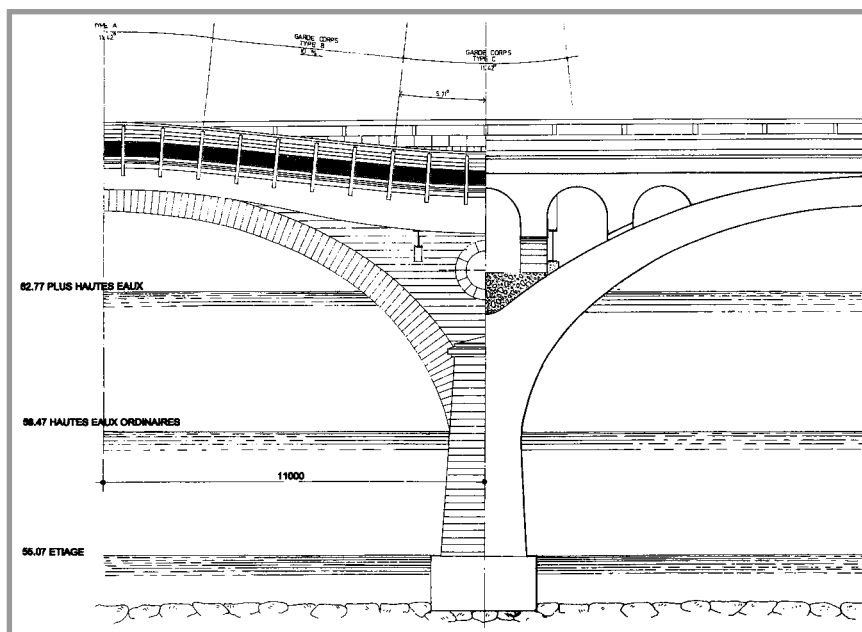
Une rainure plus large de 58 mm est remplie de résine et de carborundum. Le bord des lames est chanfreiné.

Consoles

Les deux poutres s'appuient sur des consoles métalliques fixées dans le corps du pont. Ces consoles pénètrent dans la partie creuse de l'ouvrage et se prolongent jusqu'au tympan amont. Elles viennent se fixer contre les piédroits intérieurs. Une poutre



Vue de la Vézère
View of the Vézère



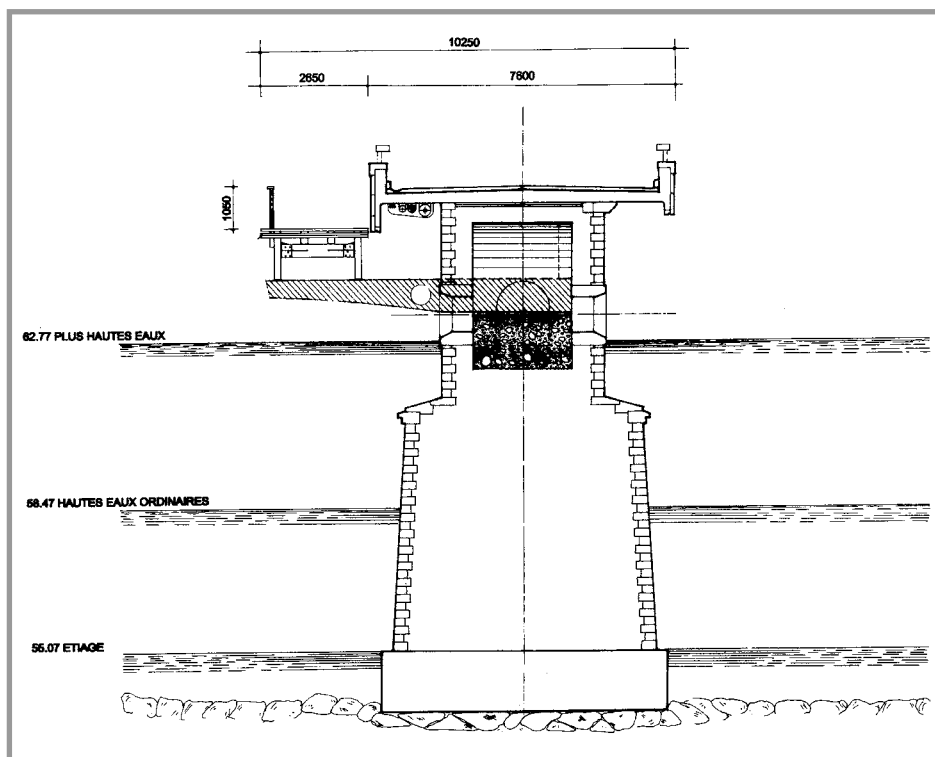
Élévation du projet
Design elevation

arrière vient les liasonner et une cale supérieur les bloquer. Par l'intermédiaire de barre "Gewi" de 20 mm, elles sont connectées aux micro pieux. La section de ces consoles, qui sont en fait des P.R.S. en forme de I, varie de 80 cm à 52 cm en about. L'âme de ces consoles à une épaisseur de 35 mm.

La longueur des consoles est d'environ 7,72 m. Les appareils d'appui sont mécaniques à articulation, pour empêcher les soulèvements mais ils comportent des éléments de souplesse en caoutchouc collé sur la membrane de 200 x 150 x 20 mm. Les consoles sont au nombre de six.

Revêtement de pierre

De chaque côté de la chaussée sur les deux murs bahut, des pierres de 10 cm d'épaisseur sont agrafées et scellées, elles sont originaires des carrières de Massengis dans l'Yonne. Ce sont des pierres calcaires dures. Leur calepinage régulier aligne les joints.



Coupe
sur le projet
Design section



Vue aval
de la passerelle
Downstream view
of the footbridge



Eclairage et balisage

Un éclairage des oculi et des voûtes de l'ouvrage par projecteurs est prévu, ainsi qu'un balisage par fibre optique le long du cheminement piétonnier.

Contre ventement de la passerelle

Des diagonales en I, placées entre les entretoises, assurent le contre ventement.

Tasseaux à 60°

Afin d'assurer l'étanchéité des poutres principales sur le premier platelage, des tasseaux ont été disposés à 60°. Ceci permet à l'eau qui passe entre le platelage en azobé de venir simplement s'écouler, grâce à la pente de l'ouvrage.

Matériaux

Tous les matériaux sont laissés naturels ou traité anticorrosion. Seul sur le mur bahut, le tube métallique de retenue des véhicules a été prélaqué et cuit au four avec une teinte vert foncé.

- ◆ B.L.C. : Pin Sylvestre traité classe 4 ;
- ◆ platelage primaire : pin Sylvestre traité classe 3 ;
- ◆ solivette longitudinale : Iroko ;
- ◆ platelage supérieur : azobé purgé d'aubier, masse volumique minimum 900 kg/m³ (humidité de référence 20 %) ;
- ◆ zinc ton naturel, épaisseur 8/10^e de mm ;
- ◆ pièces métalliques, protection des départs de garde corps : acier galvanisé ;
- ◆ garde-corps : azobé et inox ;
- ◆ pierre de parement : carrière de Massengis.

Quantités et caractéristiques principales (cf. encadré)

La passerelle latérale en bois est appuyée sur des consoles métalliques portées par le pont en maçonnerie pour tous les appuis intermédiaires et par les culées en béton fondées sur pieux PH aux extrémités. Il y a six pieux, PH par culée (poids total des pieux PH = 14 000 kg). En ce qui concerne les appareils d'appui ; la passerelle piétons est liée aux appuis par des appareils d'appui métalliques comportant un axe permettant les rotations. Les appareils d'appui sont munis d'un tampon élastomère de 300 x 150 mm et 19 mm d'épaisseur destiné à introduire une "souplesse" dans le dispositif d'appui mais un blocage mécanique empêche le ripage de la passerelle sous une action accidentelle (crue exceptionnelle, vent violent, choc, etc.).

Conséquences immédiates

La fluidité des trafics est améliorée. Des loueurs de kayaks et buvettes se sont implantés en pieds de la passerelle qui devient un nouveau lieu d'activité économique et touristique.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Prévisions du marché

- 205 m³ de béton pour la dalle
- 91 m³ de béton pour les appuis de la passerelle
- 43 000 kg d'acier pour la dalle
- 24 000 kg d'acier pour les consoles
- 5 500 kg d'acier pour les culées de la passerelle
- 24 m³ de bois pour les poutres
- 4,5 m³ pour les entretoises
- 2 m³ pour les solives
- 223 m³ de platelage double

Nichée au cœur de la vallée de la Vezère - classée Patrimoine mondial - Les Eyzies unanimement considérée comme la capitale de la Préhistoire est située à l'un des angles du "triangle sacré" du Périgord dont les autres sommets sont Montignac (Lascaux) et Sarlat.

Alors que l'architecte Nouvel construisait le nouveau musée national de la Préhistoire, l'accès principal situé sur l'axe Périgueux - Sarlat (RD 47) butait sur un ouvrage étroit où les véhicules lourds et caravanes ne pouvaient pratiquer les manœuvres de croisement. Bien que leur pourcentage avoisinait les 10 %, la largeur de chaussée disponible n'était que de 4,50 m encadrée de deux trottoirs de 0,80 m. La largeur entre les tympans de l'ouvrage lui-même n'était que de 4,00 m. L'été, il devait assurer le passage de 4500 véhicules/jour et de nombreux piétons qui se rendaient au site le plus visité des Eyzies : la grotte à concrétions du "Grand Roc" (100 000 visiteurs/an).

La problématique de cet ouvrage s'était déjà posée dès 1981 et les investigations avaient été faites à cette époque y compris des calculs.

En 1992, l'affaire était reprise et des études et investigations nouvelles étaient lancées en vue de passer rapidement au stade préopérationnel.

Ainsi, en 1992, les premières recherches étaient lancées en vue de la définition d'un nouveau parti d'aménagement de l'ouvrage.

Cette étape était concrétisée par la signature le 12 novembre 1992 d'un devis-programme entre le département de la Dordogne et le CETE du Sud-Ouest. Une inspection détaillée des parties émergées dites "superstructures" est faite par le Laboratoire régional du CETE et des sondages carottés étaient réalisés à travers les appuis et poursuivis plusieurs mètres sous les fondations de l'ouvrage. Les appuis étaient renforcés par micro-pieux et cerclage en pied des piles. Cette confortation étant réussie on pouvait engager l'étude de l'élargissement du pont. Dès l'été 1993, ce dernier présentait à la direction des Routes départementales du Conseil général cinq esquisses de profil en travers de principe.

Ces premières esquisses se différencient essentiellement en trois options :

- ◆ élargissement de l'ouvrage par construction d'une dalle générale débordant en encorbellement de façon symétrique ;
- ◆ élargissement dissymétrique de l'ouvrage en reportant la circulation piétonnière unilatéralement ;
- ◆ élargissement symétrique de l'ouvrage par construction d'une nouvelle dalle et adjonction d'une passerelle indépendante pour l'usage des piétons.

De la comparaison technique multicritère proposée par le CETE, il ressortait clairement que l'option consistant à séparer les fonctions (circulation automobile - circulation piétons) s'avérait la plus intéressante.

Cette option permettait notamment de :

- ◆ respecter les limites admissibles d'élargissement de l'ouvrage lui-même ;
- ◆ augmenter la largeur roulable ouverte aux automobiles ;
- ◆ sécuriser et rendre plus confortable la circulation des piétons.

Après avoir adopté le principe de la séparation des fonctions, maître d'ouvrage maître d'œuvre et CETE ont souhaité pousser l'évolution du projet dans deux directions :

- ◆ quelle à séparer les fonctions pourquoi ne pas envisager un ouvrage spécifique et décalé ?
- ◆ dans la mesure où l'on s'orientait vers une "griffe" se pose le problème de la cohabitation et de l'insertion avec l'ouvrage en maçonnerie.

D'où l'évidente nécessité de constituer une équipe associant un architecte spécialisé. Sur proposition du CETE, M. Spielmann, architecte titulaire de plusieurs "Rubans d'or" était retenu par le maître d'ouvrage en septembre 1993.

Pour la passerelle piétons, le choix s'orientant vers une passerelle bois, le CTBA, était associé par contrat d'étude.



Vue sur la passerelle
View on the footbridge

■ UN PARTI D'AMÉNAGEMENT ORIGINAL

Les phases préalables

Dans un site aussi prestigieux, on ne saurait éluder les phases préalables à l'ordre de service invitant le titulaire au démarrage des travaux. Ceux-ci se situant à l'intérieur du périmètre classé. L'avis favorable conforme de l'architecte des Bâtiments de France s'avère indispensable. Il a été consulté pour la première fois en septembre 1994 sur la base du parti d'aménagement de la passerelle ondoyant au-dessus des arches. Le premier avis comportait des réserves et souhaitait que le projet soit présenté à la Commission départementale des sites et paysages réunie sous l'égide du préfet. Deux présentations à cette honorable Commission ont été nécessaires pour l'adoption du projet qui a subi deux modifications importantes : la première fut

François Malbouriane
CONSEIL GÉNÉRAL
DE LA DORDOGNE



► l'abandon des bracons en bois permettant l'appui de la passerelle sur les avant-becs des piles et leur remplacement par des consoles métalliques encastrées dans la maçonnerie. La seconde modification demandée fut l'inversion du côté d'accroche de la passerelle. Présentée initialement au Nord, cette Commission l'a souhaitée côté Sud craignant que le parti trop audacieux s'intègre mal sur l'ouvrage ancien en maçonnerie.

■ LES TRAVAUX

Rappelons pour mémoire que le confortement des appuis par micropieux et cerclage en pied de piles a été réalisé par l'entreprise Sol Technic Aquitaine de Bruges (33).

Pour les superstructures, après appel d'offres ouvert, l'entreprise Laurière fut retenue par la Commission d'appel d'offres en juillet 1997 pour un montant de 5,591 millions de francs et un délai global de 5 mois et demi. Le maître d'œuvre invita l'entreprise à démarrer les travaux à compter du 6 octobre 1997.

Les travaux de démolition des superstructures jusqu'à l'extrados des voûtes et la construction d'un nouveau tablier en béton armé se déroulèrent d'octobre 1997 à avril 1998.

La construction de la passerelle bois proprement dite eut lieu entre février 1999 et mai 1999.

Ce bref descriptif du déroulement du chantier montre d'une part l'étalement anormal du délai et d'autre part un arrêt d'activité entre avril 1998 et février 1999. Que s'est-il donc passé ?

Tout d'abord, dès le démarrage du chantier, (le 6 octobre 1997) force fut d'abord de constater que l'entreprise n'avait pas su tirer profit du délai préalable d'un mois (rallongé d'un autre mois par le maître d'œuvre) pour réaliser convenablement tous les travaux et études préparatoires.

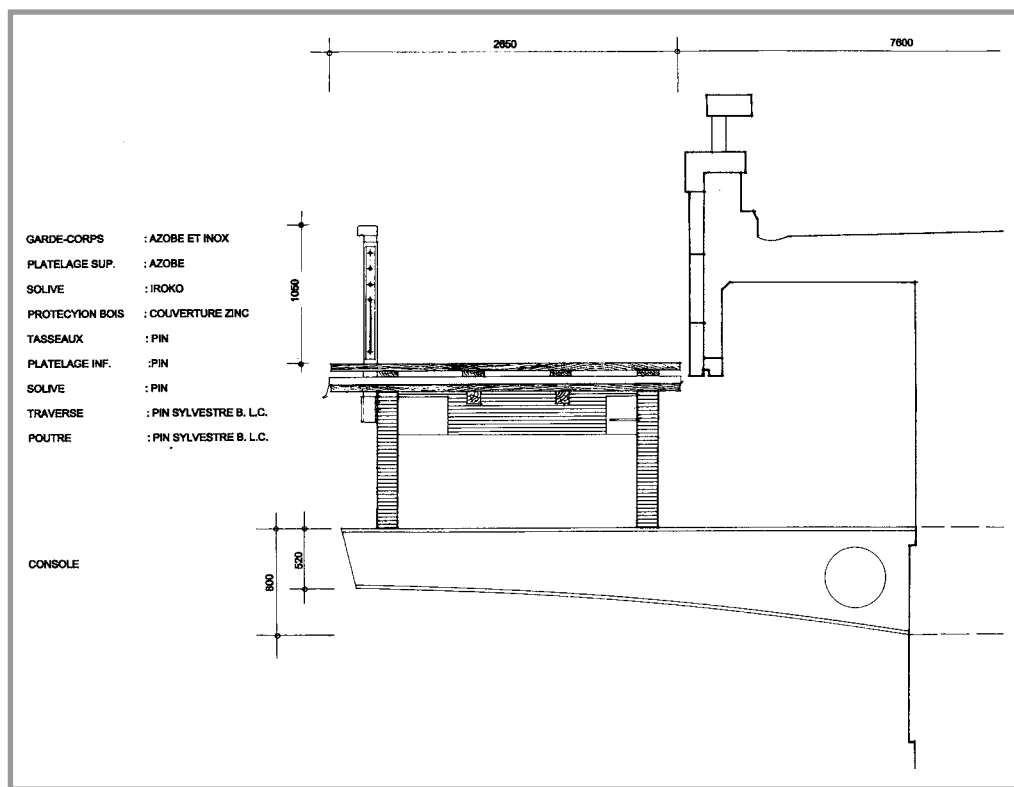
En outre, en cours de chantier, l'entreprise accusa assez rapidement un retard d'un mois environ par rapport à son planning prévisionnel.

Ainsi, lorsque l'ordre de service rappela à l'entreprise la fin du délai contractuel au 21 mars 1998, la reconstruction de la dalle en béton armé était terminée mais seules les culées de la passerelle étaient en place. Ainsi, après réunion extraordinaire du représentant du maître d'ouvrage, le délai fut prolongé jusqu'au 24 avril 1998 et le chantier arrêté à partir de cette date.

Le rallongement de délai d'un mois accordé à l'entreprise est justifié par une évolution technique intervenue en cours de discussion. En effet, dès le mois de décembre 1997 l'Administration fut alertée par l'entreprise sur les pentes de la passerelle jugées localement trop fortes (13 %) pour permettre l'accès des handicapés. Ainsi le projet a été présenté en décembre 1997 en préfecture de la Dordogne à la sous-commission d'accessibilité des personnes à mobilité réduite. Celle-ci a demandé de ramener la pente maximale à 10 %. Ceci a eu pour conséquence de rehausser les culées en béton armé.

Trois autres évolutions minimales mais génératrices de grosses économies sont intervenues :

- ◆ suppression d'une console métallique sur chaque appui de rive ;
- ◆ respect de l'égalité des travées pour des motifs autant de résistance des matériaux que d'esthétique : (10,25 - 18,10 - 3,90 - 18,10 - 3,90 - 18,10



**Coupe
sur la passerelle
Section
on footbridge**

A l'inverse, les concepteurs avaient plaidé leur préférence pour le côté le mieux perçu par la majorité des usagers et le plus apte à favoriser l'attractivité provoquée par cet ouvrage original. En revanche, personne n'avait évoqué un point positif de cette inversion : dorénavant, la passerelle bois était exposée au sud ce qui ne pouvait pas nuire à sa longévité.

Une enquête préalable à la déclaration d'utilité publique de l'aménagement des berges de la Vezère et de l'ouvrage s'était déroulée favorablement en novembre - décembre 1996, dès lors, les travaux préparatoires de renforcement des appuis par micropieux ont pu être réalisés fin 1996. Coût : 1 million de francs environ.

L'étape suivante d'élargissement de l'ouvrage en maçonnerie et de construction d'une passerelle bois pouvait alors être lancée. Afin de respecter les contraintes découlant de la concertation avec la commune, le dossier de consultation des entreprises prévoyait une durée maximale de coupure de la circulation de 3 mois pour une durée totale de chantier prévisible de 9 mois.

- 10,25). Cette répartition étant déduite des travées du pont (3 x 22);

◆ mise en œuvre d'un système anti-glissement suite aux observations du CTBA.

Cette dernière prestation a d'ailleurs été réalisée sur bon de commande par une entreprise spécialisée et en fin de délai d'exécution.

■ UN AVENANT UNE RÉCLAMATION

Le milieu économique local s'est mobilisé dès le début des travaux et n'a accepté les inévitables contraintes liées au chantier que très difficilement. La pression économique est allée crescendo à l'apparition des premiers beaux jours. Elle a atteint son paroxysme à l'arrivée des premiers touristes dès lors qu'il a été de notoriété publique que les travaux avaient pris du retard et que les délais supplémentaires de réalisation allaient engager la période touristique.

Les travaux ont dû être ajournés sur intervention du maître d'ouvrage.

Ces causes et circonstances ont eu les conséquences suivantes :

- ◆ un rallongement du délai d'exécution;
- ◆ des dépenses supplémentaires liées aux :
 - frais d'études pour modification des calculs et plans d'exécution,
 - dépenses pour travaux imprévus au marché initial : travaux modificatifs, travaux de nuit, sujétions exceptionnelles entraînant des plus values,
 - dépenses supplémentaires pour la réalisation et le maintien d'une passerelle provisoire pendant l'arrêt des travaux.

Les différentes hypothèses étudiées

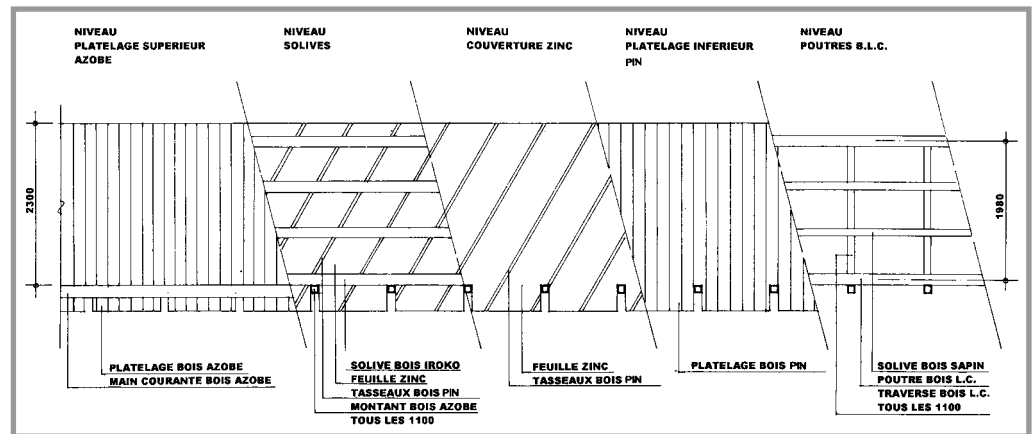
A ce stade, plusieurs alternatives se présentent au maître d'ouvrage :

- ◆ la résiliation du marché;
- ◆ la reprise du chantier sans conditions particulières après signature d'un avenant;
- ◆ la reprise du chantier sous certaines conditions après signature d'un avenant;

Dans la première hypothèse, la décision de résiliation du marché par le maître d'ouvrage implique l'obligation de versement d'une indemnité au titulaire. Néanmoins, cette hypothèse ne résout pas les problèmes suivants :

- ◆ passage des piétons sur l'ouvrage dans l'attente de la construction d'une autre passerelle;
- ◆ dépense d'une nouvelle passerelle en site propre, soit 5 millions environ, sans les accès;
- ◆ pénalisation du maître d'ouvrage du fait des retards du titulaire.

La seconde hypothèse consiste à reprendre les travaux sans contrainte de circulation et sans négocia-



Plan des différents niveaux
Plan of different levels



Vue amont
Upstream view

tion financière avec le titulaire. Cette hypothèse a été évaluée. Elle conduit à augmenter la masse initiale du marché de 2 224 543,39 F TTC représentant 40,10 %.

La présentation d'un avenant d'un tel montant ne peut manquer de poser un grave problème de légalité, et la reconnaissance par le maître d'ouvrage de sa responsabilité à 100 %.

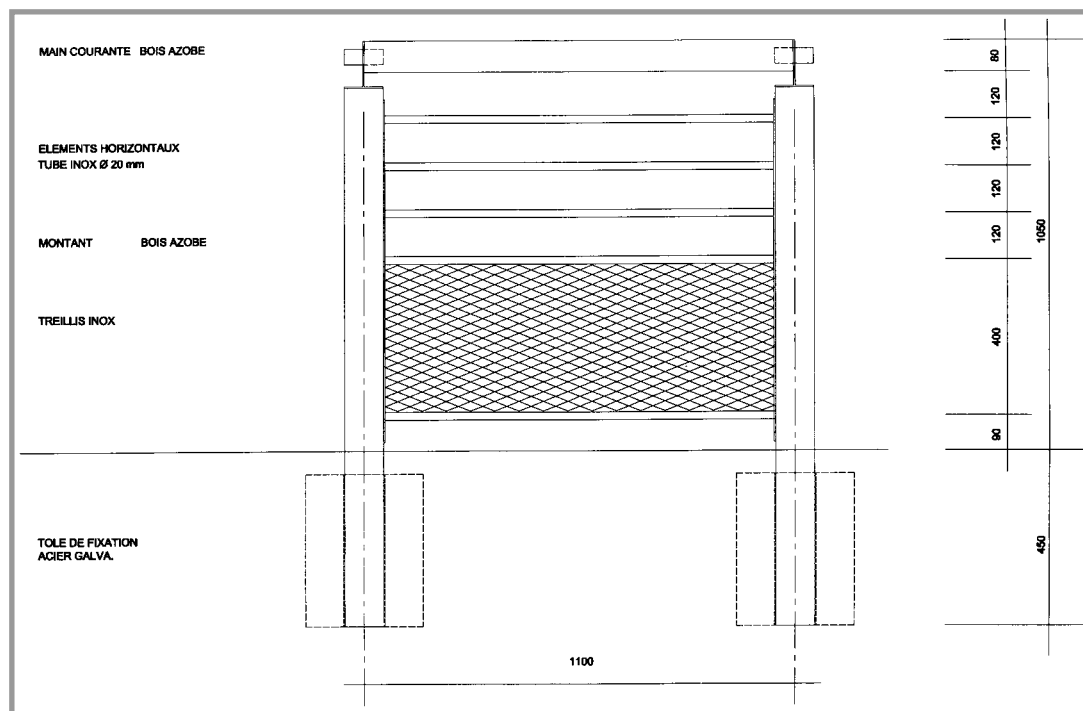
La troisième hypothèse consiste à reprendre les travaux sans condition de circulation avec une négociation entre l'Administration et le titulaire sur les prix supplémentaires :

- ◆ A12 : maintien sur le site de l'étalement;
- ◆ A14 : réinstallation de chantier;
- ◆ A15 : études supplémentaires, et sans augmentation du prix A7 relatif au lancement de la passerelle bois, du fait de non fermeture du pont au trafic.

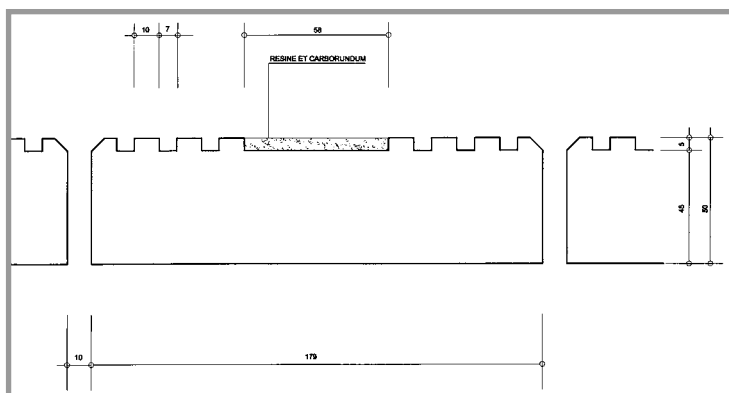
Cette hypothèse a été retenue mais conduit néanmoins à la rédaction d'un avenant. En effet, l'augmentation prévisible de la masse du marché est de 971 019,45 F TTC représentant un dépassement de 17,36 % par rapport au montant initial du marché (5 590 792,89 F TTC).

Dernière conséquence à envisager : le dépôt, par le titulaire, d'une réclamation suite à la notification des prix provisoires revus à la baisse par le maître d'œuvre, notamment les prix A12 (maintien sur site

Détails
des garde-corps
*Detail
of handrails*



Détail platelage
bois azobé
*Detail of azobe wood
flooring*



de l'étalement); A14 (réinstallation de chantier) et A15 (études supplémentaires passerelle bois); et la non prise en compte de l'augmentation du prix A7 relatif au lancement de la passerelle bois à partir des berges.

L'instruction de cette réclamation fera l'objet d'une procédure spécifique ultérieurement à la réalisation des travaux.

Enfin, en termes de délais, l'avenant proposé n'intègre que deux types de dépassement :

- ◆ un dépassement de quatre semaines correspondant à la durée de l'arrêt nécessité par les études et décisions consécutives à l'adaptation de la passerelle aux exigences d'accès pour personnes handicapées;

- ◆ un dépassement de 31 semaines depuis la décision d'ajournement du maître d'ouvrage en date du 24 avril jusqu'à la date prévisible de reprise des travaux (le 30 novembre 1998).

Le reliquat de dépassement du délai nécessaire à la fin d'exécution du chantier d'une durée de 13 semaines est jugé entièrement imputable à l'entreprise. Aussi, il n'est pas intégré au présent avenant. Il donnera donc lieu au paiement de pénalités pour retard (à raison d'1/3 000 du montant du marché par jour de retard).

La commission d'appel d'offres, lors de sa réunion

du 8 octobre 1998 a émis un avis favorable sur cet avenant. La Commission permanente l'a adopté le 23 novembre 1998. L'entreprise Laurière a déposé un mémoire en réclamation le 1^{er} avril 1999. L'instruction de la réclamation Laurière pose des problèmes de divers ordres.

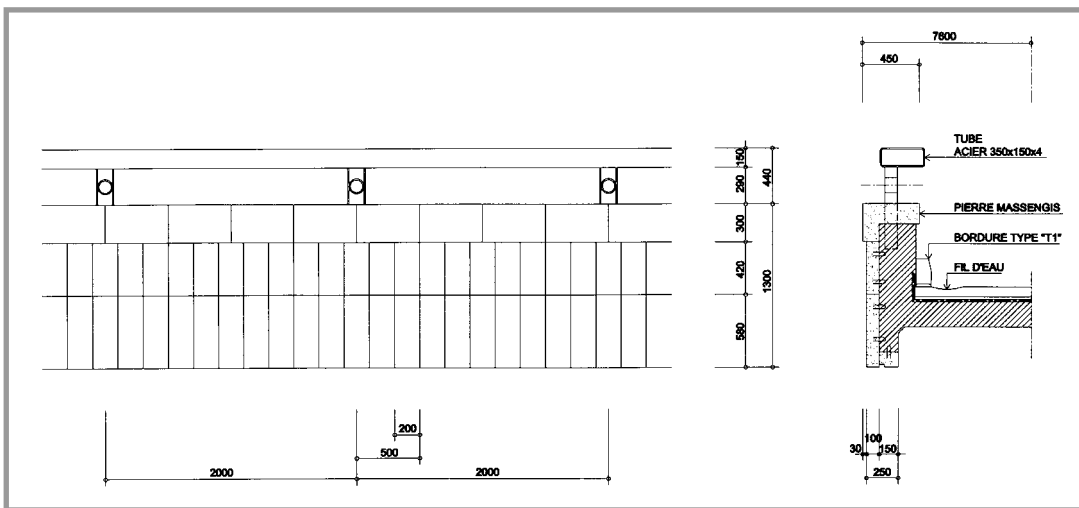
Questions de fond

Certes, le maître d'ouvrage a interrompu le chantier et a imposé des prescriptions à l'entrepreneur notamment celle de devoir maintenir la circulation ouverte sur le pont à partir du 24 avril 1998.

Les dispositions ont été prises alors que le délai contractuel était épuisé et la période de coupure de circulation autorisée dans le marché (3 mois) pratiquement doublée (5 mois 1/2).

Pour terminer son marché, l'entrepreneur a dû modifier certains modes opératoires qui ont renchéri ses coûts de production. Dans la mesure où le bon déroulement du chantier ne les rendaient pas obligatoires, certaines de ces prestations (locations engins de levage, exécution piste d'accès et d'évolution...) n'ont pas fait l'objet d'une définition de prix au bordereau. Le fait générateur de ces prestations supplémentaires n'est pas la décision du maître de l'ouvrage qui n'a imposé aucune disposition technique particulière pour aboutir au complet achèvement des travaux. D'autres solutions techniques éventuellement moins onéreuses auraient pu être proposées.

La décision a été prise par l'entrepreneur pour faire face à ses obligations contractuelles alors que le délai sur lequel il s'était engagé était dépassé. Même si ces prestations supplémentaires se sont avérées réelles et indispensables, le risque financier doit en être assumé par l'entrepreneur. Sa responsabilité découle du choix technique qu'il a dû proposer pour remédier à une situation dans laquelle il s'est placé en sous-estimant la phase de préparation et le délai d'exécution.



Détail calepinage
des pierres

Detail
of stone bond

Questions de forme

Un avenant au marché a été signé par les parties et adopté par l'assemblée délibérante du maître d'ouvrage. L'entreprise intègre dans sa réclamation les prix adoptés et d'autres prix ou indemnités supplémentaires. On se trouve en présence du cas où l'entrepreneur n'accepte pas la proposition de la personne responsable du marché (article 50.21 et 50.22 du C.C.A.G. Travaux).

La décision étant prise, le règlement provisoire du différent est exécuté en application des dispositions prises.

L'instruction de la contestation portant sur la différence entre la demande de l'entreprise et le contenu accordé dans l'avenant n° 1 relève, désormais, de la procédure contentieuse (cf. article 50.3 du C.C.A.G.). Deux alternatives se posent à l'entrepreneur :

- ◆ soit porter ses réclamations devant le Tribunal Administratif compétent. Pour ce faire il dispose d'un délai de 6 mois expirant le 3 août 1999. S'il n'a pas porté ses réclamations devant le tribunal dans ce délai, il est considéré comme ayant accepté la décision ;

- ◆ soit saisir le comité consultatif interministériel de règlement amiable. Dans ce cas, le délai de 6 mois est suspendu.

A la date des présentes, les deux démarches ont été entamées par l'entreprise.

■ QUELS ENSEIGNEMENTS ?

Quoiqu'indispensable, ce chapitre n'évoquera pour les initiés que des lieux communs. Il eut fallu au départ se donner les moyens de juger de la sincérité du délai, critère de choix décisif vu les contraintes imposées par le milieu social. Au niveau du jugement des offres comment contester le délai figurant sur l'acte d'engagement lorsque celui-ci est accompagné d'un planning prévisionnel cohérent et d'un mémoire technique ?

Un programme détaillé d'exécution de chaque ouvrage était effectivement exigible en complément



Le pont
en 1993

The bridge
in 1993

de l'offre. Mais, sans faire de procès d'intention, il est fort à parier que vu les difficultés à fournir les pièces préparatoires la réalisation d'un programme détaillé d'exécution aurait subi le même sort. Alors retarder le démarrage de l'ouvrage ?

Difficilement envisageable compte tenu du créneau négocié (octobre - janvier). Les seules hypothèses valides auraient consisté soit à anticiper l'appel d'offre d'un an pour pallier l'inadaptation de certaines entreprises à un chantier difficile, soit à retenir une autre entreprise. Mais dans ce cas, les moyens du Code des Marchés s'avèrent d'un bien mince secours face à la pratique courante des appels d'offres.

En définitive, si l'on peut déplorer la complexification des procédures administratives et le mélange des genres, il faut quand même relever la satisfaction du résultat obtenu. Celui-ci a été possible que grâce à un état d'esprit qui a consisté à considérer que :

- ◆ vu son originalité, l'ouvrage susciterait inévitablement le doute ;

- ◆ vu les compétences réunies l'ouvrage ne pouvait être un échec ;

- ◆ vu l'avancement des travaux le seul objectif des professionnels ne pouvait être que le parfait achèvement de l'ouvrage ;

- ◆ en corollaire, compenser le mélange des genres par des rapports interpersonnels responsables et constructifs. Ce qui fut la principale clé d'aboutissement.

Guy Perez



**CHEF DE PROJET
SECRÉTAIRE DE L'AFGC
SUD-OUEST**

Le lundi 21 juin 1999 à 11 h 30 +, (ils étaient en retard...) le préfet de la Dordogne, le sous-préfet, Michèle Demessine, secrétaire d'Etat au tourisme, le président Cazeau président du Conseil général et sénateur de la Dordogne, Jacques Auzou, vice-président délégué aux Infrastructures routières et à l'Habitat, Pierre Merlhiot vice-président délégué à la Culture et à la Communication, Philippe Lagarde maire des Eyzies de Tayac et son conseil municipal, ainsi que de nombreux notables de la Dordogne inaugurent la "quasi fin" des travaux des aménagements du pont des Eyzies et de la RD47.

Heureux aboutissement de longues et laborieuses études et d'un chantier conduit dans des conditions difficiles avec un parcours d'obstacles dont certains furent difficiles à franchir.

Par bonheur le 21 juin 1999 beaucoup de ceux qui étaient "contre" étaient devenus des "enthousiastes" du pont. Il en a toujours été ainsi pour les projets marquants : tout le monde ou presque

Mon expérience et mon âge me permettant de prendre du recul, je me contenterai de philosopher sur cette affaire qui est loin d'être la seule à se dérouler de cette pittoresque manière.

- Nos ancêtres, contemporains de l'Abri Pataud, traversaient-ils la rivière et comment ?

- Hésitaient-ils longtemps pour savoir si le second tronç d'arbre était à placer en amont ou en aval du premier et changeaient-ils d'idée en cours de projet ?

- Si à cette époque, il y avait des "pontifères", admettaient-ils que d'autres "pontifères" viennent ouvrir en les narguant au pied de l'abri ?

- En cours de réalisation, l'œuvre pouvait-elle être contestée, voire stoppée et pire annulée par des groupes de contestation et d'opposition ?

- En quelle monnaie étaient rétribués les travaux et ces derniers étaient-ils payés le prix convenu initial ou beaucoup plus cher ?

- Pour poursuivre l'œuvre, en dépit des oppositions massives, roulant on ne sait pour qui, y avait-t-il



**Le pont en 1999
The bridge in 1999**

est "contre" pendant, tout le monde est "pour" ou presque quand l'œuvre est achevée, si elle est réussie.

Les entrepreneurs n'étaient pas présents ce 21 juin, l'architecte n'avait pas pu se libérer, quelques acteurs techniques majeurs étaient néanmoins anonymement et discrètement présents dans la foule. Ils étaient contents de voir que les bénéficiaires du pont étaient satisfaits, et même fiers de l'œuvre. Comme le maître d'œuvre et l'architecte ont dans cet article parfaitement décrit l'ouvrage, le projet et les travaux, je n'ai pour le faire nul besoin de puiser dans mes décimètres cubes de documents et archives. Merci pour ce bon travail. Ainsi se justifie le proverbe corse : " Il ne faut jamais faire aujourd'hui ce que qui peut se faire demain et qui demain sera sans doute devenu inutile".

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Conseil général de la Dordogne

Maitrise d'œuvre

Direction des routes départementales de la Dordogne

Maitrise d'œuvre déléguée

DDE subdivision du Bugue

Bureaux d'études de conception et de contrôle

- CETE du Sud-Ouest
- CTBA Paris et Bordeaux
- CETEC Ingénierie pour le génie civil - Limoges
- Dubuisson Ingénieur conseil à Bergerac pour le bois

Architecte

Cabinet Spielmann

Entreprises

Laurière & Fils (St-Front-de-Pradoux - 24400 Mussidan)

Principales entreprises sous-traitantes

- Goubie pour la passerelle bois (24 Prigonrieux)
- Erth pour les pieux ph (33 Carbon)
- STS pour le rejointoiement (74 Magland)
- Forbeton pour la démolition par sciage (33 Bruges)
- Soltechnic Aquitaine pour le confortement des piles et fondations (Bruges)
- Rocamat en Charente pour la fourniture des pierres

une autorité solide et ferme, sorte de préfet de l'époque pour obliger l'œuvre à se poursuivre contre vents et courants ?

L'important c'est que le pont des Eyzies, soit enfin aménagé et que les usagers, contribuables actifs ou exonérés, l'utilisent sans risques et avec un plaisir ludique pendant très longtemps.

Merci à tous ceux, de l'ouvrier à l'ingénieur qui ont "mouillé leurs chemises" dans cette très belle réalisation, qui leur survivra très longtemps, sauf cataclysme nucléaire, typhon de plus de 350 km/h, séisme d'intensité 8-10...

Pour l'apprécier, venez donc voir cet ouvrage et profitez en pour visiter la région, vous ne le regretterez pas !

ABSTRACT

Widening of Eyzies Bridge in Dordogne

A. Spielmann, Fr. Malbouriane, G. Perez

Set in the heart of the Vézère valley - classified as a world heritage - Les Eyzies is considered to be the capital of Prehistory and receives more than 400,000 visitors every year. The valley was crossed by a masonry bridge about 80 m long with three elliptical arches, each with an opening of 20 m. This very narrow bridge - less than 4 m - had been widened to 6.50 m including 4.50 m of pavement. As this width was insufficient, it was decided to widen the pavement to 6.50 m and the footpath to 2.3 m. Complete investigations and careful studies led to widening with a general reinforced concrete slab reserved for vehicles and a wooden side footpath supported by brackets and having an "undulating" longitudinal profile. The structure thus renovated was commissioned in June 1999.

RESUMEN ESPAÑOL

Ensanche del puente de Les Eyzies, en Dordogne

A. Spielmann, Fr. Malbouriane y G. Pérez

Les Eyzies, en pleno centro del valle del río Vézère - clasificado Patrimonio mundial - está considerado como capital de la Prehistoria y recibe la visita de más de 400 000 personas por año. La travesía por la parte norte se efectuaba por un puente de mampostería de unos 80 m de longitud, con tres arcos elípticos de 20 m de luz cada uno. Este puente sumamente estrecho - menos de cuatro metros - fue objeto de un primer ensanchamiento de 6,50 m de los cuales 4,50 m de calzada. Al resultar insuficiente esta anchura, se tomó la decisión de aumentarla a 6,50 m para la calzada propiamente dicha y 2,30 m para dar paso a los peatones. Otras investigaciones más completas y estudios detallados han dado lugar a la ejecución de un ensanche por placa general de hormigón armado únicamente reservada a los vehículos y por pasarela lateral de madera, soportada por ménsulas y que presenta un perfil longitudinal "ondulado". Este puente, una vez renovado, fue inaugurado en junio de 1999.

A7 - Renforcement et de deux ouvrages de

L'évolution du trafic autoroutier sur l'A7 a conduit les Autoroutes du Sud de la France à renforcer et élargir deux passages inférieurs enjambant des cours d'eau.

L'opération effectuée en parallèle sur les deux ouvrages a été menée à bien sous de fortes contraintes de site liées au trafic routier sur l'A7, aux phasages de travaux qui en découlent nécessairement et aux nombreuses interfaces entre les divers intervenants du chantier.

Techniquement, le principe retenu pour le renforcement/élargissement des ouvrages mobilise des poutres métalliques accolées aux rives des tabliers et liées entre elles par une précontrainte transversale.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

L'autoroute A7, dans sa partie nord, de Vienne à Valence, est en service depuis le milieu des années soixante. Elle a été construite et exploitée, à l'origine, à deux voies de circulation pour chaque sens.

La mise à trois voies est effective depuis la fin des années quatre-vingt, le profil en travers théorique comportant trois voies de 3,5 m, une bande d'arrêt d'urgence (BAU) de 3 m et une bande dérasée de gauche (BDG) de largeur variant de 0,75 à 1,25 m.

Le profil en travers théorique n'a, cependant, pas pu être réalisé au droit d'un certain nombre d'ouvrages, en particulier au droit des viaducs à une ou plusieurs travées de type VIPP, par manque de largeur des tabliers.

Si l'inscription de trois voies a été partout possible, l'exploitation en phase travaux de type "2 + 2" voies réduites sur une même chaussée – largeur requise de 14,2 m entre équipements de sécurité – est rendue impossible en l'absence de BAU et cela empêche la réalisation de tous travaux d'importance sur les ouvrages. Or des travaux conséquents sont à faire : réfection de l'étanchéité et des couches de roulement mais surtout confortement de la structure dont les poutres de rive sont sursollicitées du fait de l'élargissement des chaussées et de l'excentrement accru des charges par effet de multi-entretoisement des poutres.

La réalisation de tels travaux de confortement requiert la complète libération de, successivement, chacun des tabliers. Le nécessaire basculement

de la circulation sur la chaussée B, pour réaliser les travaux sur tablier A, implique l'élargissement préalable du tablier B. Il s'en suit une équation singulière : le confortement induit élargissement alors que l'élargissement suppose que l'ouvrage soit d'abord conforté.

L'élargissement, sous-produit nécessaire, localisé, de l'opération de confortement des ouvrages, prend un intérêt significatif par considération de l'ensemble de l'itinéraire : il permet la mise en continuité du profil théorique autorisant basculement de circulation et exploitation provisoire en "2 + 2".

L'opération confortement/élargissement est en cours au droit du franchissement de la Galaure, elle est achevée pour quelques autres sites dont la zone de Chanas comprenant les deux ouvrages de la Sanne et du Dolon.

Principe retenu pour les confortement/élargissement

Le confortement est obtenu par adjonction à la structure de deux poutres additionnelles placées en rive extérieure et en bordure côté TPC (Terre plein central). Ces poutres sont assujetties à la structure d'origine par précontrainte transversale et dimensionnées en terme de module d'inertie "E*I" pour que la fraction des sollicitations qu'elles reprennent sous charges d'exploitation corresponde au mieux à l'excès de sollicitations calculé pour les poutres d'origine.

L'élargissement est obtenu, d'une part, en donnant à la poutre additionnelle de TPC une largeur de table de compression égale à la demi-largeur du vide central et, d'autre part, en reportant sur la poutre additionnelle de rive extérieure l'équipement de sécurité BN4.

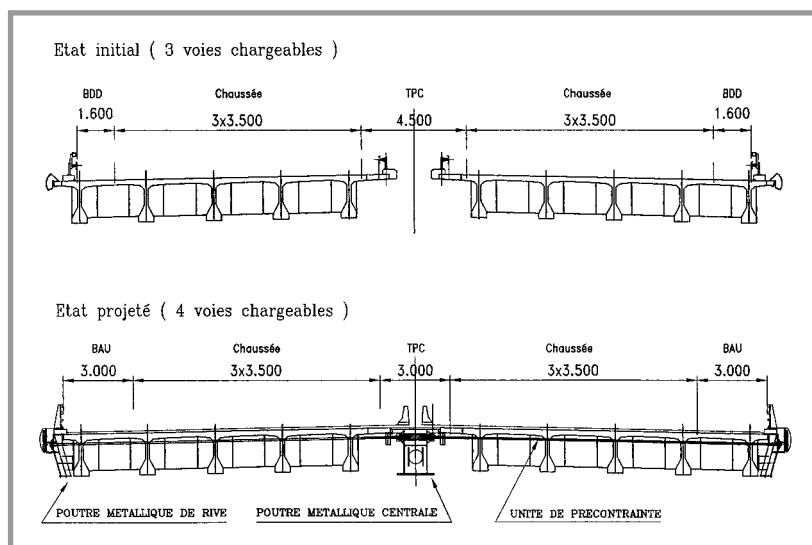
Les poutres additionnelles sont des poutres métalliques (à comportement "neutre").

La précontrainte transversale est dimensionnée pour la reprise des chocs sur BN4, elle assure par ailleurs la couture des efforts dus à un gradient thermique de 10° C entre structure ancienne et poutres additionnelles (pour l'ouvrage sur la Galaure, le gradient thermique a pu être réduit à 5° C après étude particulière confiée au CETE de Lille).

Cas des ouvrages de la Sanne et du Dolon

L'ouvrage de franchissement de ces deux rivières est de type VIPP, à une seule travée. Chaque tablier comporte cinq poutres préfabriquées pré-

Figure 1
Principe du renforcement-élargissement
Coupe de l'ensemble
Principle of strengthening/widening - Overall section



élargissement franchissement

contraintes avec hourdis intercalaires serrés par précontrainte transversale et quatre entretoises (placées en abouts de travée ainsi qu'aux tiers de portées).

La longueur des travées est de 31 m pour la Sanne (ouvrage droit) et de 34,4 m pour le Dolon (biais à 84 gr).

La particularité de ces ouvrages, exploitée dans l'établissement du projet, réside dans le fait qu'ils sont fondés sur pieux par le biais d'une culée monolithique de 31 m de largeur.

Les deux poutres latérales additionnelles placées en TPC ont été confondues en une poutre caisson unique ; cette poutre est liaisonnée par précontrainte transversale à la poutre de rive extérieure adjointe à un tablier ainsi qu'à la poutre adjointe à l'autre tablier, l'ensemble étant rendu monolithique (l'intérêt majeur de cette disposition est de constituer une poutre à grande inertie de torsion supportant dans de bonnes conditions la partie du hourdis d'origine en encorbellement, placée maintenant sous charge d'exploitation).

Les constats effectués sur site ont conduit à vérifier les structures anciennes avant solidarisation (vérinage différentiel d'une culée à l'autre mais aussi basculements autour d'un axe transversal et d'un axe longitudinal) afin de réduire les charges permanentes de chaussée.

■ ÉTUDES D'EXÉCUTION

Différents aspects de l'étude d'exécution

L'étude d'exécution pour le renforcement des ouvrages de la Sanne et du Dolon est de celles qui retiennent particulièrement l'intérêt du projeteur comme celui de l'ingénieur, par la diversité des problèmes posés.

La géométrie des éléments de renforcement tout d'abord doit être adaptée précisément aux ouvrages en place : alignement des platines d'assemblage avec les retombées d'entretoises, adaptation de la courbure des poutres à celle des rives de tablier, positionnement des câbles de précontrainte transversale entre les câbles longitudinaux des poutres de VIPP.

Les tabliers des ouvrages en place ont donc fait l'objet d'un relevé de géomètre détaillé par l'intrados, seul accessible, tandis que des sondages en extradados permettaient de mesurer les épaisseurs d'un revêtement ayant subi divers rechargements



PI 250 - Le Dolon.
Ouvrage après travaux

PI 250 - The Dolon.
Structure after works

et modifications de profils. Il faut à partir de cela déterminer les vérinages qui seront imprimés indépendamment à chacun des tabliers avec trois composantes : translation verticale, rotation autour d'un axe transversal, puis autour d'un axe longitudinal, dans le but de repositionner les plans des tabliers par rapport à la chaussée pour optimiser et homogénéiser la charge permanente.

C'est à la géométrie ainsi modifiée que doivent être adaptés les éléments de renforcement.

Le fonctionnement de la structure renforcée comprend diverses composantes. La charge permanente est portée par les poutres des tabliers VIPP dont on doit recalculer l'état de contrainte théorique en fonction du phasage de construction décrit par les documents d'archives, et avec prise en compte des efforts de retrait, fluage et relaxation par la méthode "scientifique". Les charges d'exploitation sont portées par la structure complète où l'on associe par précontrainte transversale les deux tabliers et les poutres métalliques, constituant ainsi un tablier unique à huit voies de circulation (figure 1) avec les possibilités de combinaison de voies chargées qui en découlent. Enfin, il faut analyser l'effet d'une possible différence de température entre poutres métalliques et poutres béton.

La détermination de l'état initial sera faite à l'aide de la chaîne de calcul de ponts scoop de Ingérop, tandis que le comportement sous charges d'exploitation est appréhendé au moyen d'un modèle tri-dimensionnel à barres. Pour rechercher et clarifier les combinaisons dimensionnantes de voies chargées, ce modèle est utilisé dans un premier temps pour déterminer les lignes d'influence des

Hubert Rossignol

CHEF DE DIVISION
Scetauroute

Bertrand Nicolas

DIRECTEUR DE CENTRE
GTM Construction

Frédéric Tatat

CHEF DE SERVICE OUVRAGES D'ART
Ingérop

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'œuvre

Scetauroute

Entreprise mandataire lot principal

GTM Construction - D.R. de Lyon

• Sous-traitant terrassement : entreprise Bonnard

• Sous-traitant étanchéité : Smac Acieroid

• Sous-traitant joints de chaussée : Cipeac SA

• Sous-traitants équipements : Somaro et Sler

• Sous-traitant chaussées : Screg

Lot accessoire 1

Charpente métallique : société Eiffel

Lot accessoire 2

Signalisation et balisage : Somaro

Bureau d'études entreprise

Ingérop

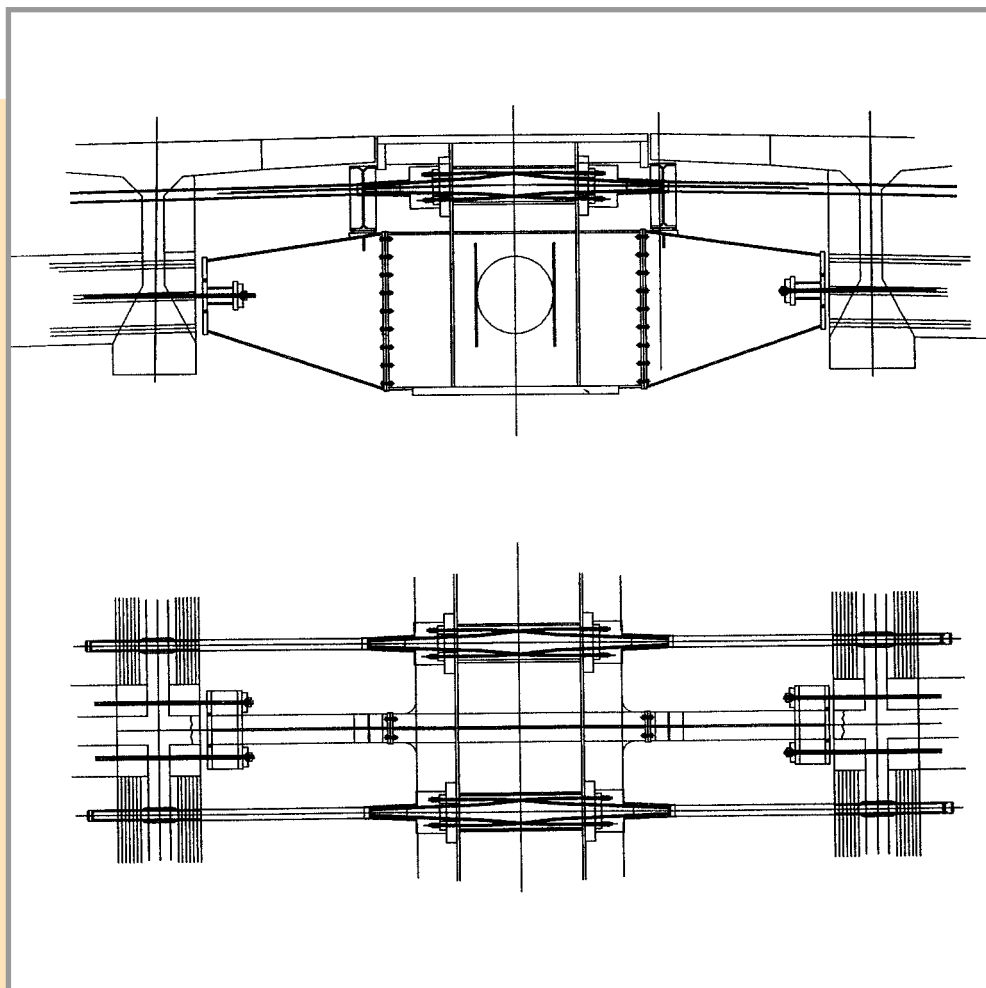


Figure 2
Assemblage poutre centrale
Central girder assembly

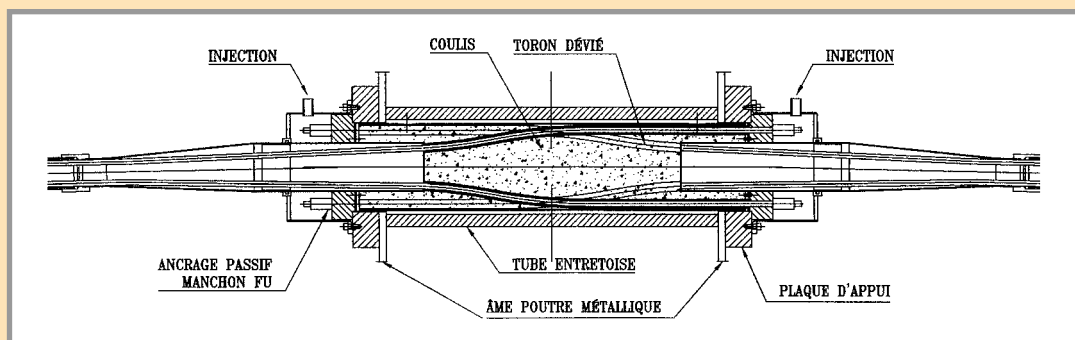


Figure 3
Couplage de deux unités de précontrainte au moyen du "barillet"
Coupling of two prestressed units by means of a "barrel"



sollicitations dans les éléments vérifiés : poutres béton, entretoises, poutres métalliques et assemblages.

Efforts mis en jeu

Les poutres métalliques sont dimensionnées en terme de raideur pour drainer la charge d'une voie supplémentaire de circulation sur chaque tablier, la condition étant d'éviter toute décompression en

fibre inférieure des poutres de VIPP ; elles subissent des contraintes modérées (inférieures à 150 MPa), les efforts d'appui des tabliers sur les poutres métalliques au droit des entretoises intermédiaires sont assez faibles (12 tonnes/entretoise en rive, 30 tonnes/entretoise au centre). En revanche, les efforts générés par la dilatation différentielle des poutres métalliques par rapport aux tabliers béton, effet parasite, sont importants et la justification de leur ancrage aux abouts des poutres précontraintes s'est avéré un peu délicate. Une solution aurait été de libérer le déplacement, mais elle posait la question d'un joint de chaussée longitudinal.

Enfin, le fonctionnement de l'ouvrage rendu monolithique produit des moments fléchissants transversaux qui ont tendance à ouvrir les assemblages avec la poutre centrale, un effet vis-à-vis duquel la précontrainte transversale centrée s'avère insuffisante.

Assemblages - Le "barillet"

La liaison des poutres métalliques aux tabliers béton se fait au droit de chaque entretoise, avec l'about de retombée de celle-ci et l'extrémité d'encorbellement du hourdis sur une longueur limitée à environ 2,00 m, reconstituant la section utile en T (figure 2).

En complément, un profilé longitudinal permet d'appuyer l'extrémité d'encorbellement en continu.

La conception de la zone d'assemblage des poutres métalliques répond aux contraintes suivantes :

- ◆ assurer le transfert des efforts tranchants verticaux sous charges d'exploitation, ainsi que la résistance aux moments fléchissants transversaux pour la poutre centrale ;
- ◆ recevoir les ancrages des câbles 7T15 de précontrainte transversale avec couplage en zone centrale nécessité par le phasage de travaux ;
- ◆ permettre la mise en place le plus aisément et rapidement possible pendant les courtes périodes autorisées.

La figure 2 décrit l'assemblage au droit d'une entretoise intermédiaire pour la poutre centrale : les "oreilles" de liaison avec les retombées d'entretoises, ainsi que le profilé d'appui de l'extrémité d'encorbellement sont assemblés par boulons HR après pose de la poutre descendue par le vide central.

Un complément de précontrainte est localement obtenu par des barres Diwidag au droit de la retombée pour éviter l'ouverture du joint sous moment fléchissant positif.

Enfin, le dessin montre le dispositif de couplage imaginé et mis au point pour ces travaux (figures 2 et 3).

Le principe est de dévier et de croiser les torons positionnés individuellement dans des tubes guides, eux-mêmes mis en place dans un tube enveloppe

injecté au coulis. L'ensemble monobloc est disposé dans un tube entretoise intégré à la poutre.

Les torons sont ancrés sur deux plaques d'appui à l'aide de manchons filés. Les avantages sont les suivants :

- ◆ le raidissage des poutres métalliques est simplifié ;
- ◆ les percements pour passage des câbles sont identiques pour toutes les poutres précontraintes ;
- ◆ la mise en tension peut être réalisée suivant un ordre indifférent ;
- ◆ il est possible de détendre l'un ou l'autre câble pour désolidariser un tablier si besoin (réparation, vérinage) ;
- ◆ le système autorise les déviations angulaires modérées (dues au dévers de tablier ou accidentelles) par la simple souplesse des torons.

■ RÉALISATION DES TRAVAUX

En plus des travaux directement liés à l'élargissement/renforcement de chaque ouvrage, le marché prévoyait la réalisation de tâches connexes :

- ◆ décalage vers l'arrière par démolition et reconstruction des murs garde-grèves des ouvrages de façon à ménager un passage derrière les poutres existantes ;
- ◆ construction de dalles de frottements supports de BN4 en rives ;
- ◆ vérinage des ouvrages (recalage altimétrique et changement des appareils d'appuis) ;
- ◆ démolition et reconstruction de l'étanchéité et des chaussées sur ouvrage ;
- ◆ changement des joints de dilatation et des éléments d'équipements.

Les travaux ont eu lieu sous fortes contraintes de circulation et ont été organisés en plusieurs phases, définies et positionnées en fonction des conditions de circulation. Celles-ci imposaient notamment l'arrêt du travail sur la plate-forme autoroutière pendant les périodes de forts transits (plan primevère, chassés-croisés des vacanciers, etc.).

Les travaux lourds sur autoroute (phase 5 – cf. infra) n'étaient par ailleurs possibles que pendant des fenêtres de cinq semaines réparties entre septembre 1997 et mars 1998 au cours desquelles la circulation était basculée sur un seul tablier en "2 + 2" voies.

On voit dès lors que la mise au point des plannings de travaux et leur suivi dans le temps devient un exercice ardu, puisque une tâche retardée ne peut être reportée qu'à la fenêtre de travaux suivante, à la condition expresse que les balisages prévus correspondent à la tâche reportée.

Les retards deviennent par conséquent ingérables, et l'entreprise doit prévoir des marges de sécurité, tant en termes de délais que de moyens pour réaliser les travaux sans aucune mesure avec les us et coutumes de la profession.



Liaison poutre centrale métallique. Structure existante
Link of central steel girder. Existing structure

On distinguera cinq phases de travaux distinctes, identiques pour chaque ouvrage :

- ◆ phase 1 - Travaux en rives de l'ouvrage - Voie lente et BAU neutralisées :
 - démolition des corniches,
 - préparation des calages de poutres métalliques sur les rives,
 - décalage des garde-grèves,
 - construction des dalles de frottements supports de BN4 ;
- ◆ phase 2 - Travaux en TPC (Terre plein central) - Voie rapide neutralisée :
 - démolition des rives,
 - préparation du calage des poutres métalliques,
 - décalage des garde-grèves ;
- ◆ phase 3 - Pose des poutres métalliques (neutralisation alternative de chaque tablier avec basculement de circulation sur l'autre tablier) :
 - opération effectuée sur deux nuits consécutives, les poutres complètes étant approvisionnées par convois exceptionnels empruntant la plate-forme autoroutière et mises en place par deux grues automotrices de 200 tonnes travaillant en tandem ;
- ◆ phase 4 - Travaux en sous-face d'ouvrage (pas de balisage sur l'A7) :
 - mise en œuvre de la précontrainte (carottage des poutres existantes pour passage des gaines de précontrainte, mise en tension, matages des poutres métalliques sur les poutres existantes, injection des gaines),
 - vérinage de l'ouvrage ;
- ◆ phase 5 - Travaux par tablier (neutralisation totale de chaque tablier avec basculement de la circulation en "2 + 2" voies sur l'autre tablier) :
 - décalage des garde-grèves,
 - reconstruction de l'étanchéité de l'ouvrage,
 - remplacement de joints de chaussée,
 - reconstruction des chaussées et mise en place



Détail liaison : platine métallique, entretoise béton armé avec complément de précontrainte par barres Diwidag, précontrainte transversale (le barillet est dans le caisson de la poutre)

Detail of link : steel plate, reinforced concrete brace with additional prestressing by Diwidag bars, transverse prestressing (the barrel is in the box of the girder)



des équipements de sécurité (BN4 en rives, GBA en TPC) de l'ouvrage.

A la gestion des interfaces avec l'exploitant viennent de plus s'ajouter les interfaces internes au chantier.

Interfaces organisationnelles

La spécificité des travaux à réaliser accroît en effet le nombre d'intervenants du chantier (cf. encadré "Les principaux intervenants") en ajoutant – à l'obligation faite à chacun de tenir les délais propres à sa prestation – celle imposant un enchaînement strict et sans temps mort des travaux.

Interfaces techniques

Les interfaces les plus contraignantes sont celles liées au mariage des structures métalliques et béton existantes :

◆ percement des poutres existantes pour passage de la précontrainte : les réservations percées par carottages dans les poutres béton devaient être parfaitement alignées entre elles et par rapport à celles prévues dans les poutres métalliques. Les carottages initialement prévus avant pose des poutres, en temps masqué, ont dû être reportés après la pose de celles-ci ;

◆ ajustement de la géométrie des poutres à celle de l'ouvrage existant : compte tenu des biais des ouvrages, l'entreprise a procédé à un levé tridimensionnel des zones de contact entre les poutres métalliques et les poutres béton.

Lors du montage à blanc en usine des poutres métalliques, l'environnement béton existant a pu être alors recréé virtuellement et a permis le positionnement des platines de liaison.

ABSTRACT

Strengthening and widening of two structures across the A7 motorway

H. Rossignol, B. Nicolas, Fr. Tatat

Growing traffic on the A7 motorway led operator ASF (Autoroutes du Sud de la France) to strengthen and widen two underpasses across streams.

The operation, carried out in parallel on both structures, was completed under significant constraints related to traffic on the A7, to work phases which necessarily resulted therefrom, and to many interfaces between the various players involved in the project.

Technically, the principle adopted for the strengthening/widening of the structures uses steel girders along the sides of the decks, linked to each other by a prestressed cross member.

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidación y ensanchamiento de dos puentes de travesía de la autopista A7

H. Rossignol, B. Nicolas y Fr. Tatat

La evolución del tráfico automóvil por la autopista A7 ha conducido a la empresa Autoroutes du Sud de la France (Autopistas del Sur de Francia) a reforzar y ensanchar dos pasos inferiores que salvan dos cursos de agua.

Esta operación, efectuada en simultaneidad en los dos puentes ha sido llevada a buen término en emplazamientos sometidos a importantes imperativos relacionados con el tráfico viario de la A7, así como a las fases de obras que de ello se derivaban y a las numerosas interfaces entre los diversos participantes en las obras.

Técnicamente, el principio adoptado para el refuerzo y ensanchamiento de las estructuras precisa la intervención en las vigas metálicas adyacentes a los bordes de los tableros y reunidas entre sí por un pretensado transversal.

économie

Le Fonds national pour le développement des adductions d'eau (FNDAE)

Le FNDAE est un Compte d'Affectation Spécial du Trésor, créé en 1954 pour promouvoir les adductions d'eau potable. Ses crédits sont très essentiellement consacrés à des subventions d'investissement aux collectivités locales et concernent directement les Travaux Publics. Etant donné les préoccupations environnementales exprimées par le Gouvernement, on s'interroge sur l'évolution de ce fonds depuis le début de la décennie.

■ QU'EST CE QUE LE FNDAE?

Un Compte Spécial du Trésor pour l'eau

Le Fonds National de l'Eau (FNE) comporte deux sections pour l'année 2000. La première, le FNDAE, retrace le versement de subventions et de prêts aux collectivités locales qui réalisent des travaux d'adduction d'eau (la totalité des crédits d'investissements du FNDAE intéresse les Travaux Publics). La seconde, le Fonds National de Solidarité pour l'Eau, a été créée par la loi de finances 2000 et retrace le financement d'actions de connaissance de l'eau et de fonctionnement d'instances de concertation relatives à la politique de l'eau.

Le Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau apporte une aide financière en capital aux collectivités rurales, pour leurs travaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement. Financé par un prélèvement sur les recettes du Pari Mutuel et par une redevance sur tous les volumes d'eau distribués sur le territoire national par un réseau public d'eau potable (communes urbaines et rurales) le FNDAE est un instrument financier de solidarité nationale au bénéfice des seules communes rurales ou de leurs groupements.

FNDAE	Recettes en MF 2000	985
	Produit de la redevance sur les consommations d'eau	55%
	Prélèvements sur le PMU	45%

En 1996, le FNDAE a renouvelé la politique de conventionnement avec les départements volontaires qui avaient commencé en 1991. Ces conventions ont permis de centrer les interventions du Fonds sur des thèmes prioritaires arrêtés par le Conseil Général. Le partenariat ainsi créé s'est traduit par une aide accrue tant du FNDAE que des départements.

Depuis 1997, le FNDAE intervient dans le programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole pour un montant de 150 millions de francs annuel devant durer 3 ans. Cette dotation entraîne un ralentissement des investissements des collectivités rurales dans leurs travaux d'eau et d'assainissement.

Le FNDAE intervient en outre pour la réparation des dégâts causés par des intempéries exceptionnelles : suite aux inondations de l'automne 1994, des hivers 1995 et 1996 et de la sécheresse 1997, plus de 25 millions de francs ont été versés aux communes rurales pour la réparation des dégâts sur les infrastructures des services d'eau et d'assainissement, ou pour la mise en place d'interconnexions de réseaux d'eau potable.

■ LES DÉPENSES DU FNDAE

Des dépenses de subvention d'investissements

Les crédits du FNDAE sont presque exclusivement consacrés à des dépenses de subventions d'investissement. Seuls 2% du Fonds servent à couvrir les frais de fonctionnement du fonds et les dépenses de personnel à rembourser au budget général.

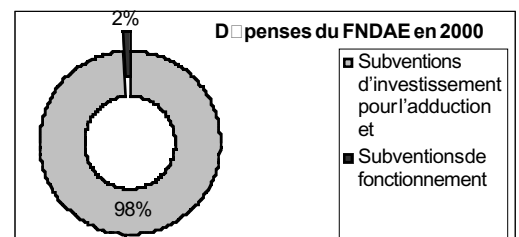
Un montant qui varie peu au cours du temps

L'historique du FNDAE pendant la décennie 1990 confirme la faible part des

dépenses du fonctionnement par rapport aux dépenses d'investissement.

Les crédits du FNDAE ont globalement progressé entre 1991 et 2000 passant de 750,4 MF à 807,2 MF, mais cette progression n'est pas linéaire.

Le fonds a atteint son plus haut niveau en 1997 (après le collectif budgétaire). Mais les variations enregistrées au cours des années sont assez faibles : le FNDAE reste stable du fait de ses recettes protégées mais il ne bénéficie d'aucun "coup de pouce" depuis 1997.



Année	FNDAE (en millions de francs constants base 90)		
	Investissement	Fonctionnement	Total
1991	738,4	12,0	750,4
1992	709,7	11,7	721,4
1993	708,1	13,9	722,0
1994	755,0	13,7	768,7
1995	801,1	13,4	814,5
1996	780,1	13,2	793,3
1997	846,4	13,0	859,4
1998	832,8	12,9	845,7
1999	825,5	12,8	838,3
2000	790,3	16,9	807,2

