

Travaux

n° 760

PONTS ROUTIERS

- Le pont du Vecchio en Corse
- Le pont haubané de Beaucaire Tarascon
- Le pont sur le Boulès à Millas (Pyrénées-Orientales)

- Le viaduc de Monistrol d'Allier sur la RD 589

- Le pont de Rivas sur la Loire

- Le viaduc de Digoïn

- Le projet du second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg

PONT FERROVIAIRE

- Le viaduc de Roquemaure sur la ligne TGV Méditerranée

PONT AUTOROUTIER

- A10 - Le viaduc de la Dordogne

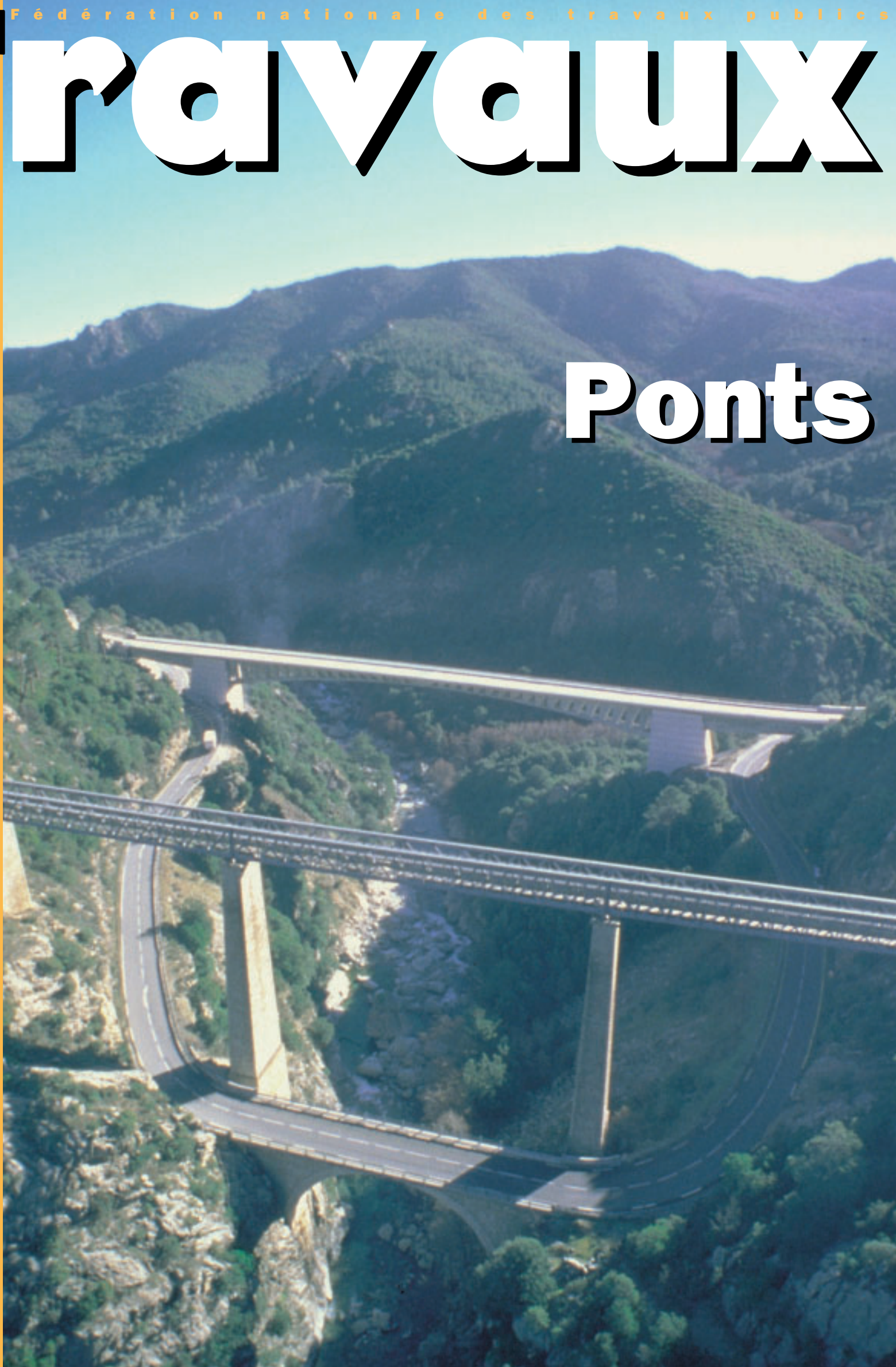
PONT-AVION

- Le pont-avion C15 pour la piste 3 de l'aéroport Charles de Gaulle à Roissy sur l'A1

PASSERELLE

- La passerelle Solférino à Paris

Ponts



sommaire

janvier 2000

Ponts

Travaux
numéro 760

Notre couverture
Le pont du Vecchio
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. : (33) 0144 13 31 44

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart

Tél. : (33) 0241 35 09 95

Fax : (33) 0241 35 09 96

E mail : Francoise.Godart@wanadoo.fr

MAQUETTE

T2B & H

8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris

Tél. : (33) 0144 64 84 20

VENTES ET ABBONNEMENTS

Colette Robert

RGRA

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 0140 73 80 05

E mail :

revue.generale.des.routes.rgra@wanadoo.fr

France : 920 FF TTC

Etranger : 1100 FF

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

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle

61, bd de Picpus - 75012 Paris

Tél. : (33) 0144 74 86 36

Imprimerie Chirat

Saint-Just la Pendue (Loire)

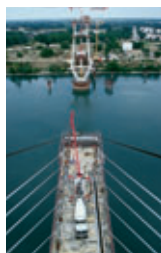
La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de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

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

Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n° 57304


éditorial
Daniel Tardy

1

actualités

8

matériels

13

PRÉFACE
Marc Mimram

15

PONTS ROUTIERS

 ◆ Le pont du Vecchio en Corse
- *The Vecchio bridge in Corsica*
L. Paulik

16

 ◆ Franchissement du Rhône. Le pont haubané de Beaucaire Tarascon
- *Crossing the Rhone. The Beaucaire Tarascon cable-stayed bridge*
Cl. Letey, A. Chauvin, Ph. Bonneval, P. Mouchel, P. Sandrini, C. Nola, Fr. Pellier, J.-L. Bringer

28

 ◆ Le pont sur le Boulès à Millas (Pyrénées-Orientales)
- *The bridge over the Boulès in Millas*
G. Fontaine, M. Panabière

35

 ◆ Le viaduc de Monistrol d'Allier sur la RD589
- *The Monistrol d'Allier viaduct on highway RD589*
Fr. Charmasson

37

 ◆ Le pont de Rivas sur la Loire
- *The Rivas bridge over the Loire*
S. Arguimbau

42

 ◆ Le viaduc de Digoin. Un viaduc en encorbellement par voussoirs à inertie variable coulés en place tous les deux jours
- *The Digoin viaduct. A cantilevered viaduct with variable inertia segments cast in place every two days*
P. Dieuaide

46

 ◆ Le projet du second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg
- *The second bridge over the Rhine in Strasbourg*
A. Demare, G. Treffot, Fr. Bouchard

51

Sommaire

janvier 2000

Ponts

Dans les prochains numéros

Routes

Travaux urbains

Réhabilitation

d'ouvrages

Sols

et fondations

Tunnels

Terrassements

Autoroute A 89

Barrages

International



PONT FERROVIAIRE

◆ Le viaduc de Roquemaure sur la ligne TGV Méditerranée
- *The Roquemaure viaduct on the TGV Mediterranean high-speed train line*

D. Mary

62



PONT AUTOROUTIER

◆ A10 - Le viaduc de la Dordogne
- *A10 - The Dordogne viaduct*

J.-M. Jaeger, S. Nunez, J.-J. Bianchi, D. Primault

66



PONT-AVION

◆ Le pont-avion C15 pour la piste 3 de l'aéroport Charles de Gaulle à Roissy sur l'A1
- *The C15 aeroplane bridge for runway 3 at Charles de Gaulle airport in Roissy over the A1 motorway*

J.-M. Combeau, Fl. Gautron, B. Jallat

72



PASSERELLE

◆ La passerelle Solférino à Paris. 36^e pont de Paris
- *The Solférino footbridge : The 36th bridge of Paris*

P. Dziuba

77

marchés et prix

81

**répertoire
des fournisseurs**

86

Puisqu'il m'est proposé aujourd'hui de préfacier ce numéro spécial de la revue *Travaux* consacrée aux ponts, je voudrais revenir sur l'idée trop souvent considérée comme évidente de projet d'ouvrages d'art.

Notre logique d'ingénieur nous pousse très souvent vers trois écueils : l'analyse "exhaustive", la solution idéale, l'abstraction.

◆ "L'analyse exhaustive" se fonde sur l'idée que toutes les solutions sont "a priori" possibles. Dans cette hypothèse, il ne s'agit pas ici de reconnaître ce qui situe le projet, le fait naître en ce lieu, mais de comparer toutes les solutions envisageables en les présentant sur un a priori égalitaire. Le projet est lui très différent, il est issu de la géographie, confronté aux lignes du paysage, à la nature des matières, à l'orientation du site, qui rendent impossible telle solution techniquement réaliste ou économiquement comparable. Voilà pourquoi le projet se situe en dehors de la simple comparaison de solutions techniquement viables pour retrouver le lieu qui le fonde et la subjectivité d'une proposition raisonnée.

◆ "La solution idéale" semble hanter notre rationalité scientifique. Les hypothèses de portée, d'économie de moyens, de résistance des matériaux, suffiraient à déterminer la forme de l'ouvrage idéal. Aussi la rationalité des moyens de production qui nous menait hier vers une forme d'habitat récusé par tous, érigerait aujourd'hui en doctrine un catalogue de solutions techniques de ponts qui deviendraient vite obsolètes.

C'est le sens du projet que de se définir à chaque fois, constructivement, techniquement et formellement, les ponts pas plus que les villes qui les accueillent ou les paysages qui les situent ne peuvent appartenir à un cata-

logue de solutions idéales. Il nous faut, pour chaque lieu, chaque site, reconsidérer cette solution technique immanente, fixée en dehors de toutes références, et prendre place pour découvrir le projet juste.

◆ "L'abstraction" est une vertu de la pensée. Elle permet d'imaginer le projet au-delà de la reproduction des modèles préexistants et au cœur d'un dispositif qui responsabilise le concepteur.

Mais cette abstraction ne doit pas nous éloigner du réel. Bien au contraire, elle doit nous permettre de porter une attention plus grande encore à la réalité du projet : du

lieu au faire, du paysage aux plaisirs des matières, de la gravité aux parcours des lumières. Ainsi les ouvrages d'art sont issus d'une démarche de projet fondée sur une raison plurielle, dont il nous faut extraire la forme qui fait sens, d'un point de vue structural et architectural.

Rien ne sert de revêtir les "bonnes" solutions techniques d'oripeaux architecturaux, décoratifs et inutiles.

Il faut moins d'architectures rapportées sur les ouvrages, mais des projets plus cohérents, plus pertinents dans les choix techniques qu'ils expriment, plus attentifs aux paysages qu'ils parcourent.

Les ponts sont projetés, calculés, construits dans un paysage

et à partir de celui-ci. Nous sommes les auteurs de ce regard attentif.

La rencontre entre nos ambitions techniques et l'attention aux leçons du paysage est la raison du projet d'ouvrage d'art et la condition de sa modernité.

L'espace public que nous requalifions par nos ponts, est le lieu du partage. Un espace de générosité offert à tous dans une attention renouvelée à l'urbanité, à la civilité.



■ **MARC MIMRAM**
Architecte D.P.L.G.
Ingénieur E.N.P.C.

Le pont du Vecchio

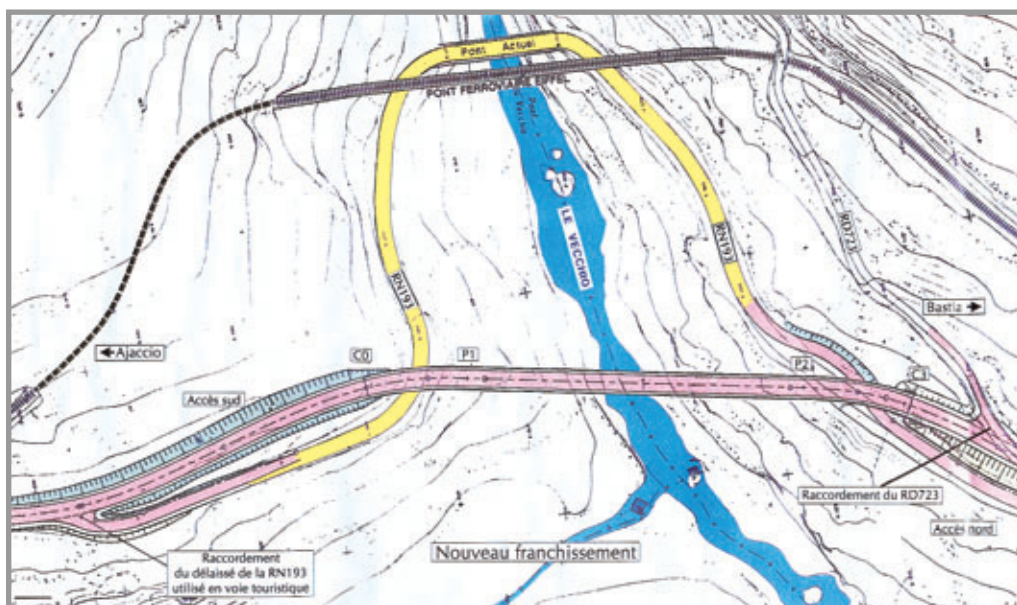
Le remarquable pont routier sur le Vecchio, d'une longueur totale de 222 m, a été conçu et réalisé sous d'exceptionnelles conditions de protection de l'environnement. Il franchit les gorges du torrent à 65,00 m de hauteur, en plein cœur du parc naturel protégé de "l'île de beauté" face au viaduc ferroviaire métallique dû à G. Eiffel, ouvrage récemment inscrit à l'inventaire des Monuments historiques.

Afin d'optimiser son intégration, l'équipe d'études a été amenée à développer un nouveau concept de tablier élégi de grande portée (137,50 m) construit par encorbellement.

Les âmes inclinées du caisson précontraint de hauteur variable (3,50 à 10,00 m) sont constituées par des panneaux trapézoïdaux préfabriqués précontraints.

L'effet de transparence, de légèreté, d'arc de la travée centrale a été renforcé au niveau architectural par un habillage des piles et culées composé de panneaux préfabriqués de béton clair.

Figure 1
Vue en plan
Plan view



■ HISTORIQUE ET ENJEUX

La RN193, axe routier structurant de l'île de beauté, relie les villes de Bastia au nord, Corte au centre, Ajaccio au sud. Elle franchit les gorges du Vecchio, entre les villages de Venaco et Vivario, par un ouvrage maçonné de 46 m de longueur totale, arche plein cintre de 30 m d'ouverture, implanté au pied du viaduc Eiffel de la voie ferrée Ajaccio - Bastia (photo 1).

En 1960, cet ouvrage est élargi à 9,00 m pour permettre une mise à double sens de la circulation. Le tablier est constitué d'une dalle béton à profilés métalliques transversaux incorporés portant sur les tympans de la voûte initiale de 5,30 m de largeur.

Au fil du temps, des désordres importants sont apparus, avec notamment une oxydation des semelles des poutrelles d'élargissement et surtout une fissuration longitudinale de la voûte atteignant 5 cm en clé. L'étude de réparations, réalisée par le CETE Méditerranée concluant, du fait de l'interdiction de coupure du trafic à une reconstruction à proximité, est complétée en 1987 par une étude préliminaire de divers franchissements de longueur variable (100 à 175 m) suivant leur implantation, en aval, à une distance de 30 à 130 m de l'arc en péril.

En 1991, l'Etat décide de lancer un concours de concepteurs pour améliorer les conditions de franchissement de la vallée avec comme objectifs : rapidité, fiabilité sécurité. Le programme précise que le projet comportera une chaussée bidirectionnelle de 7,50 m avec un nouveau tracé de vitesse de

référence fixée à 60 km/h. Toutes les phases de réalisation devront permettre le maintien de la circulation. Le projet respectera le site naturel des gorges escarpées du Vecchio avec un nouvel ouvrage de franchissement qui s'accordera avec l'ouvrage ferroviaire situé à proximité de l'ouvrage routier actuel récemment inscrit à l'inventaire des Monuments historiques (novembre 1976).

■ LA DÉMARCHÉ CONCEPTUELLE DE L'ÉQUIPE LAURÉATE DU CONCOURS

L'équipe pluridisciplinaire comprenant ingénieurs (L. Paulik, Y. Gauthier, M. Adjamou), géotechnicien (M. Brossier) et architecte (B. Mikaélian) a travaillé par étapes.

L'examen des contraintes et premières orientations

La référence aux normes ICTAAL V = 60 km/h impliquant des rayons supérieurs à 120 m, l'amélioration indispensable de la pente longitudinale de 9 % versant Vivario et le minimum de perturbations de la circulation durant les travaux ont conduit à rechercher un tracé neuf se développant sur les deux versants des gorges depuis le passage à niveau de la voie ferrée au sud, jusqu'au branchement de la RD723 au nord.

La profondeur des gorges (65 m), les pentes abruptes des flancs (30 % à 60 %), l'évasement de la vallée nous ont fait opter pour un large ouvrage de franchissement limitant le nombre d'appuis pour mieux préserver le site en évitant ainsi la création de pistes d'accès dévastatrices et offrant une meilleure transparence pour la vallée.

La présence dans ce site naturel protégé (parc régional de la Corse) du monument classé de Gustave Eiffel, ouvrage ferroviaire dominant les gorges depuis son tablier métallique réticulé, ses piles maçonnées de grande hauteur au pied desquelles se trouve l'arche maçonnée routière, a conduit à une réflexion structurelle exhaustive pour rechercher une meilleure "cohabitation".

Le concept

Le tracé (figure 1) est le fruit d'un compromis entre rayons minima, longueur droite de l'ouvrage de franchissement et minimum de superposition avec la route nationale en service. Dans le sens Ajaccio -

en Corse

Ladislav Paulik



**CONSEILLER TECHNIQUE
DU MAÎTRE D'OUVRAGE
CETE Lyon**

Avec les participations de MM. de Wissocq, Thorel et Fichou, (Collectivité Territoriale Corse), M. Vassord (bureau d'études EEG), MM. Placidi et Regallet (service TM de l'entreprise Razel).

Bastia, on quitte la route nationale après le passage à niveau en longeant les déblais du tunnel de la ligne ferroviaire. A l'abord des gorges, le tracé s'incurve pour franchir la vallée sur 240 m en ménageant un alignement droit d'environ 150 m. On rejoint le versant nord au droit de l'ultime virage des gorges en s'incurvant à nouveau jusqu'au raccordement de la RD 753 dont le branchement est décalé. La pente longitudinale initiale de 9 % côté sud est alors réduite à 6,75 %.

L'ouvrage de franchissement a fait l'objet d'une recherche d'un grand nombre de structures soumises au filtre des faisabilités techniques, des critères d'intégration et de préservation du site. L'arc semblait être la structure architecturalement appropriée face aux ouvrages présents sur le site. Malheureusement, compte tenu des difficultés de réalisation des appuis, notamment en rive gauche et du risque de détérioration du site (accès) il n'a pas pu être retenu.

Le pont à béquilles, type La Truyère sur l'A 75 qui flirte aussi, mais à plus longue distance, avec un ouvrage ferroviaire classé de G. Eiffel à Garabit n'a pas été retenu pour des raisons identiques à l'arc au vu des difficultés de réalisation des appuis sur les flancs escarpés. Les ouvrages haubanés, nécessitant des mâts relativement conséquents, entraînent en conflit d'échelle avec l'ouvrage classé tout comme les bow-strings difficilement réalisables en raison de l'exiguïté des lieux.

Ainsi, les conditions de préservation du site, de faisabilité technique, de tracé admissible ont conduit à adopter un ouvrage à trois travées, mal proportionné, avec une grande travée centrale rectiligne à hauteur variable de 150 m environ, encadrée par deux travées latérales courbes d'environ 40 m. Il était donc impératif d'améliorer ce mauvais équilibre en élégissant la travée centrale et en alourdissant les travées latérales. Empruntant l'idée d'âmes triangulaires de J. Mathivat lors d'une proposition variante du viaduc à hauteur constante de Sylans, le concept a été élargi aux ouvrages à hauteur variable avec des âmes évidées inclinées, les travées latérales alourdies mobilisant les culées contrepoids (figure 9).

Le traitement architectural

Le travail conjoint ingénieurs - architecte a permis cette alchimie structurelle ayant pour objectif d'accentuer l'effet d'arc tendu et transparent en intervenant :

- ◆ sur le pas et la forme des triangles des âmes in-



Figure 2
Vue architecturale
Architectural view



Photo 1
Vue de l'ouvrage
existant
*View of existing
structure*

clinées respectant les longueurs usuelles (3,50 m à 4,00 m) de construction en encorbellements avec équipement mobile ;

- ◆ sur les dimensions du hourdis inférieur, membrure de section croissante en hauteur et en largeur en direction des appuis ;
- ◆ en masquant les piles et une partie des travées latérales sur la longueur, correspondant à la variation de hauteur du tablier, avec un traitement architectural coordonné des culées ;
- ◆ sur la qualité des parements des âmes préfabriquées triangulaires, des murs masques, des corniches et culées.

L'ouvrage proposé du concours

(figure 2)

D'une longueur totale de 235 m, à trois travées continues, l'ouvrage comporte une travée centrale rectiligne de 145 m de portée dont la hauteur varie paraboliquement de 3,50 à 12,00 m et deux

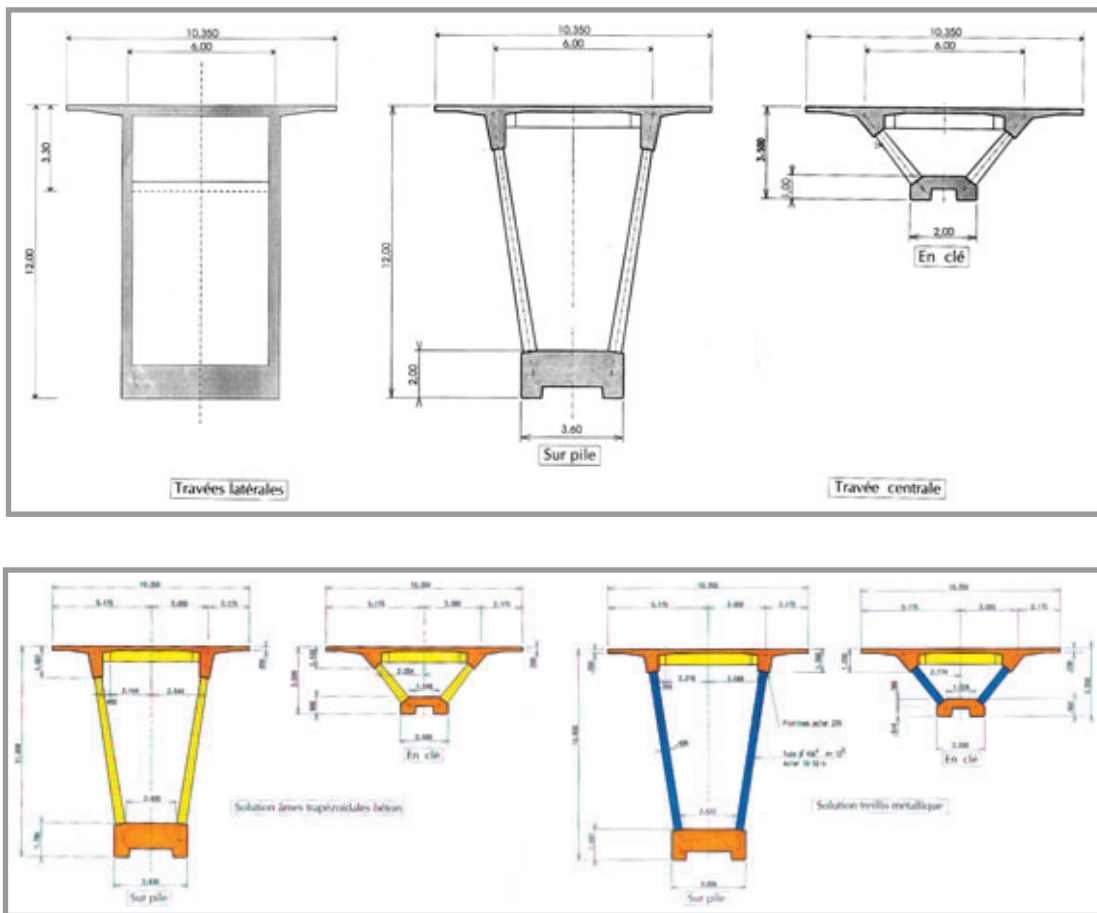


Figure 4
Coupes transversales
APOA
Cross sections -
APOA

travées latérales courbes de 45,00 m dont la hauteur varie linéairement de 12,00 m à 3,30 m sur 12 m et reste constante jusqu'à la culée contre-poids. Ces travées latérales assurent le franchissement de la route nationale actuelle dont la vocation future sera la voie touristique de découverte des gorges et des ouvrages d'art.

Transversalement (figure 3), le tablier de la travée centrale est une poutre caisson comprenant :

- ◆ un hourdis supérieur d'épaisseur variable (de 0,25 à 0,35 m), raidi au pas de chaque voussoir (4,00 m), de 10,50 m de largeur avec deux encorbellements latéraux de 2,40 m ;
- ◆ deux âmes trapézoïdales préfabriquées de 40 cm d'épaisseur supportant la dalle supérieure avec un entraxe de 6,00 m et convergeant en partie basse au centre de gravité de la membrure inférieure de section variable 1,50 x 1,00 m en clé et 3,00 x 2,00 m sur appui.

La poutre caisson des travées latérales est du type classique, à âmes verticales d'entraxe 6,00 m, de hauteur et d'épaisseur variable avec un hourdis supérieur présentant les mêmes encorbellements que la travée centrale. Le hourdis inférieur est d'épaisseur variable (1,50 + 0,60). L'entretoise d'about pleine comporte un tenon d'appui s'insérant dans la culée.

Le transfert entre sections latérales et centrale est assuré par une large entretoise sur appui. La précontrainte de l'ouvrage est mixte, suivant les fa-

milles de câbles, notamment externe pour celle remontant les efforts du fléau central.

Les appuis sont fondés superficiellement sur le rocher. Les culées comportent un chevêtre mobilisant les efforts résiduels de soulèvement par l'intermédiaire d'appuis glissants inversés.

Le mode de construction prévu assure qualité et préservation du site puisque les travées latérales sont coulées en place sur cintre classique, assurant le maintien de la circulation par dessous et la travée centrale est réalisée par encorbellements successifs de 4,00 m à l'aide d'un équipage mobile dans lequel sont installées les âmes préfabriquées aux abords du chantier. La membrure inférieure et le hourdis supérieur sont coulés en place, ce qui garantit la parfaite union des pièces et la géométrie de l'ouvrage. L'approvisionnement du chantier s'effectue par l'arrière sans interférence avec la circulation depuis les aires latérales de chantier. Enfin, la stabilité en construction de l'édifice est constamment assurée par les travées latérales (figure 14).

■ LES DEUX SOLUTIONS DÉVELOPPÉES POUR L'AVANT-PROJET D'OUVRAGE D'ART

Suite aux investigations complémentaires sur le site (sondages, levés topographiques), les études d'APOA ont été menées par EEG sur deux solutions d'allègement de la travée centrale : celle conforme au projet présenté à âmes trapézoïdales préfabriquées béton en travée centrale et la seconde, envisagée lors du concours mais non présentée, en substituant les âmes trapézoïdales béton par un treillis métallique, solution soutenue par M. Virlogeux du Setra (figure 4). Les caractéristiques longitudinales des deux solutions sont identiques : longueur totale 239 m, avec la travée centrale rectiligne de 149,50 m dont la hauteur varie paraboliquement de 3,50 m à la clé à 12,00 m sur appui et deux travées latérales courbes béton de 44,75 m suspendues aux culées.

Les appuis

L'ensemble du site se trouve dans une zone de granits monzonotiques de forte résistance mécanique quelque peu fracturée. Heureusement, ces fracturations sont de faible persistance et de forte rugosité sans remplissage d'argile. Après examen et analyse de Simecsol, il a été retenu des fondations superficielles avec des redans pour s'adapter à la pente du rocher et limiter les terrassements en bordure de la route actuelle.

La fondation de la pile nord est particulièrement délicate puisque la pente générale du versant est d'environ 40° et le niveau de la semelle est prévu à environ 10 m sous la route nationale. Les piles

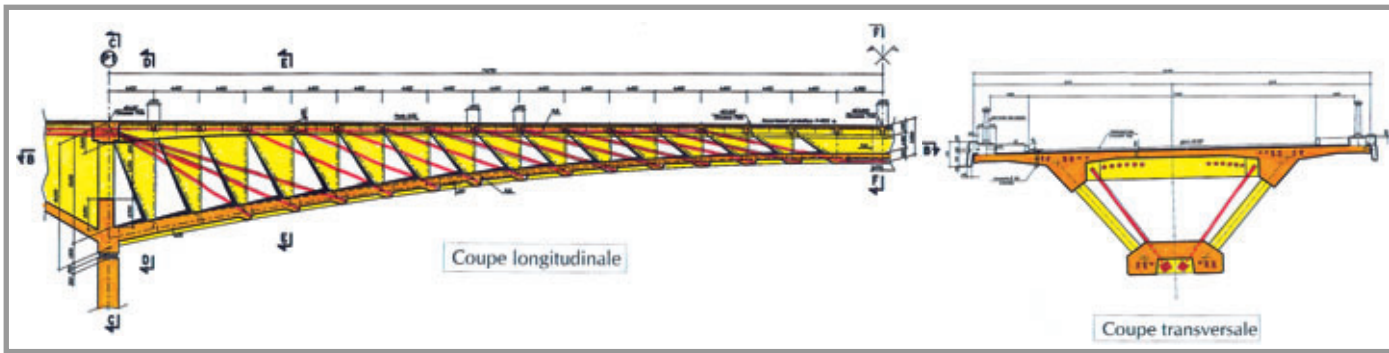


Figure 5
Câblage âmes trapézoïdales béton
Cabling - Concrete trapezoidal webs

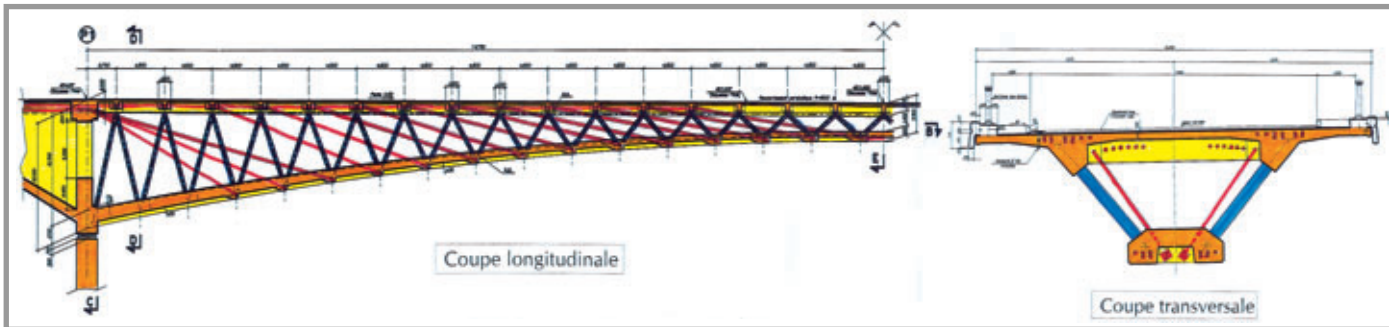


Figure 6
Câblage solution treillis métallique
Cabling - Steel lattice solution

classiques BA sont masquées par de grands murs esthétiques.

Travées latérales

Les travées de rive courtes et courbes encadrent la grande travée élégie. Elles sont volontairement lourdes et très rigides vis-à-vis de la torsion. Il s'agit d'un caisson à âmes verticales de hauteur et épaisseur variable à hourdis épais comportant à l'about un tenon à appui renversé entrant et mobilisant la culée.

Travée centrale

Solution âmes trapézoïdales béton

La forme originale ajourée variable en hauteur, en largeur, à âmes inclinées de ce tablier a nécessité pour sa mise au point de nombreux calculs complexes. En effet, le comportement de la structure est intermédiaire entre un caisson à âmes pleines et un treillis. Du fait des ouvertures dans les âmes, le fonctionnement n'est plus celui d'une poutre pleine avec transmission de l'effort tranchant de manière continue, mais intuitivement celui d'un treillis avec des montants verticaux comprimés et des diagonales tendues sous charges extérieures. Cependant, la raideur des panneaux d'âmes, d'inertie propre non négligeable, conduit à des flexions et un cisaillement modifiant notablement les déformations. Après recherches de treillis équivalents infructueuses car n'obtenant pas la simultanéité des efforts et déformations, il a été alors entrepris un calcul aux éléments finis (programme HERCULE), le phasage de réalisations a été pris par superposition d'états, les effets de retrait-fluage étant pris de manière forfaitaire (figure 5).

Le principe de câblage retenu consiste à remonter l'effort tranchant régulièrement. La précontrainte est donc disposée en harpe, c'est-à-dire avec des câbles sensiblement parallèles mais de puissance variable (entre 16 et 25T15), équilibrant les tractions des diagonales des panneaux. En fait, il faut trouver l'équilibre entre compression des diagonales sous surcharges et décompression des montants à vide à la mise en service. Le projet évite toute traction sous charge permanente et limite les contraintes principales dans les panneaux à 1,5 ftj sous surcharges rares.

Ces câbles ancrés dans l'entretoise de culées sont rectilignes jusqu'à l'entretoise de pile; ils sont ensuite déviés un par un sur des blocs accrochés aux nervures transversales et s'ancrent en sous-face de la membrure inférieure. Ils équilibrent les moments négatifs de la travée de rive et partiellement l'encorbellement en phase de construction. Une précontrainte cyclique en 7T15 complète ce câblage du fléau.

Solution mixte : tube treillis métallique (figure 6)

Dans ce cas, le fonctionnement général est plus clair, puisqu'il s'agit vraiment d'un treillis facile à modéliser et les difficultés viennent plutôt des problèmes de connexion métal-béton. La solution adoptée a été définie de manière à pouvoir amener dans le coffrage des ensembles constitués par des V pour éviter toute soudure en place.

La jonction supérieure réalisée par tubes interpénétrés, nécessite des découpes avec des soudures réalisées en usine. La liaison des platines avec le béton est assurée par des connecteurs constitués de plats soudés reprenant le glissement, associés à des aciers HA pour l'effort de traction.

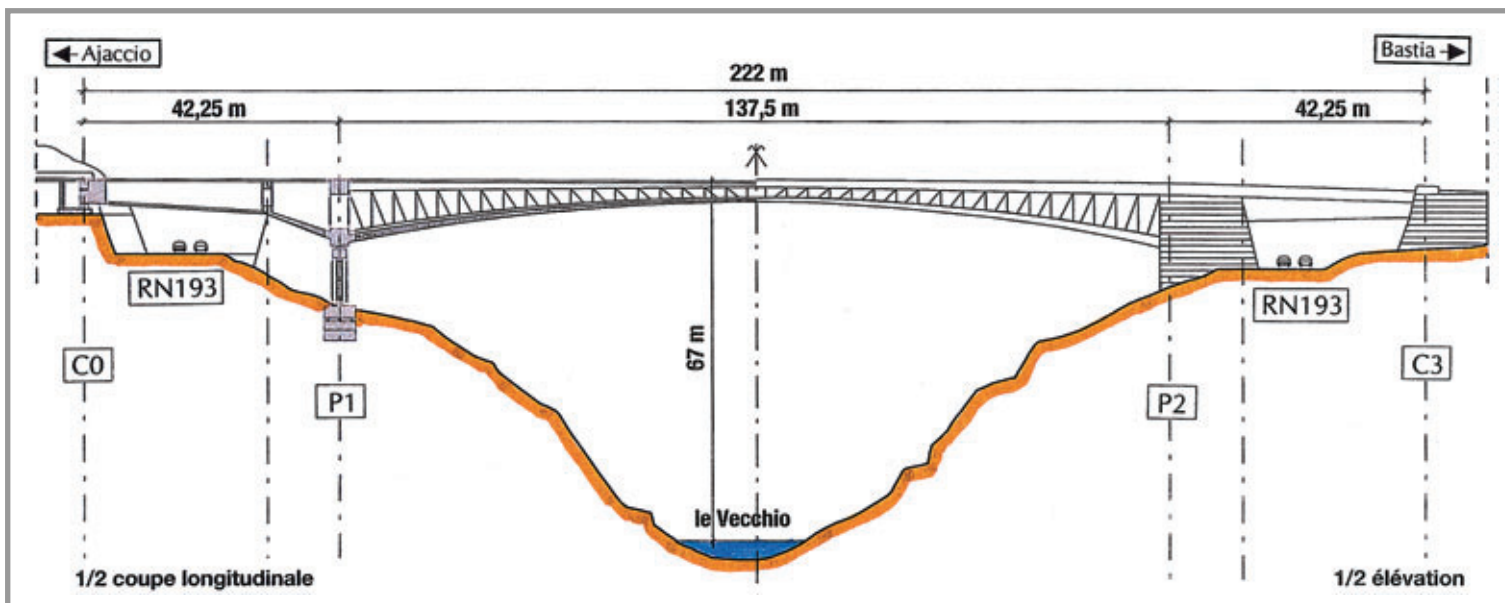


Figure 7
1/2 coupe longitudinale -
Élévation

Longitudinal half-section -
Elevation

Méthodes de constructions

Les travées de rive sont prévues construites en place sur cintre autorisant la libre circulation par dessous (gabarit de 3,60 m). De manière à pouvoir décentrer rapidement pour récupérer l'étaie pour la deuxième travée, il est prévu une précontrainte provisoire démontable au fur et à mesure de la construction du fléau suivant l'inversion des efforts dans ces travées.

La travée centrale est prévue construite en encorbellement à l'aide d'un équipage mobile constitué de deux parties : une pour le hourdis supérieur et une pour le hourdis inférieur, en permettant la mise en place et le maintien des deux âmes en béton préfabriquées dont les plus lourdes atteignent 25 t. Il est prévu de les mettre en place simultanément depuis l'arrière avec un palonnier réglable afin d'éviter un chargement dissymétrique.

La solution treillis est évidemment plus facile à mettre en œuvre compte tenu de la légèreté des tubes préassemblés.

LA CONSULTATION DES ENTREPRISES

Premier appel d'offres et modification du projet

Au terme des études détaillées des deux APOA, la commission travaux de l'Assemblée territoriale de Corse a opté le 25 janvier 1995 pour le lancement de la consultation uniquement sur la solution béton (conforme au concours). L'appel d'offres européen s'étant avéré infructueux, les responsables de la collectivité territoriale ont demandé de trouver une solution plus économique en conservant le concept du projet de base.

Un groupe de travail a été constitué réunissant EEG, le CETE de Lyon, le Setra, l'architecte. Grâce à une modification de tracé repoussant légèrement l'ouvrage vers le thalweg, la solution CETE ramenant la longueur de l'ouvrage à 222 m et surtout ré-

duisant la portée centrale de 149,50 à 137,50 m a été retenue. L'ouvrage a donc été réduit dans le même rapport d'homothétie et a constitué la base du nouveau DCE.

Second appel d'offres et mise au point du marché

L'ouvrage a été attribué à l'entreprise Razel. Différents aménagements structurels et de méthodes (proposés par Razel) visant à faciliter la réalisation tout en conservant l'esprit et l'architecture du projet ont été retenus, soit :

- ◆ réalisation des travées de rive sur cintre général par plots successifs avec maintien des palées provisoires jusqu'au décentrement naturel par basculement, faisant ainsi l'économie de la quasi-totalité de la précontrainte provisoire à l'exception de câbles en fibre supérieure pour reprendre les moments en service essentiellement négatifs ;
- ◆ mise en place d'un seul tenon arrière excentré réduisant le couple de torsion dans la travée de rive ainsi que l'excentrement des réactions sur appuis des piles ;
- ◆ mise en place d'appuis en Néoprène fretté sur pile rendant le schéma statique symétrique avec un point fixe dans l'axe de la travée centrale ;
- ◆ dissociation de la fonction pile de celle d'habillage esthétique en accrochant des panneaux préfabriqués sur une structure indépendante formée de portiques et poutres. Les activités dites structurelles du chantier avec une utilisation opportune des portiques pour l'étaie de la travée de rives sont bien dissociées des activités dites de finition. Ces dispositions ont permis de mieux répondre aux exigences de qualité et teinte des parements ;
- ◆ mise en place des panneaux d'âmes préfabriqués sur le voussoir antérieur afin de s'affranchir du poids, ce qui a permis d'alléger l'équipage composé de deux parties distinctes haute et basse ;
- ◆ modification du câblage de la travée centrale introduisant un brélage provisoire et des câbles plongeants (ceci a été amélioré pour l'exécution avec un câblage subhorizontal et une précontrainte à

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Etudes

200 plans - 60 notes de calculs

Piles et culées

- Déblais rocheux : 1600 m³
- Béton B30 : 1375 m³
- Acier : 90 t

Habillage

1800 m² soit 155 panneaux préfabriqués

Tablier

Cf. tableau I

Câble de précontrainte longitudinale

Cf. tableau II

Barre de précontrainte des âmes

275 m³ béton (cf. tableau III)

Durée de construction

36 mois

Coût général opération

64,5 millions de francs TTC

Coût de l'ouvrage

37,2 millions de francs HT

Financement

- 50 % CEE
- 25 % Etat
- 25 % Collectivité Territoriale Corse (CTC)

barres inclinées insérée dans les âmes). Ces dispositions ont été intégrées dans le marché passé avec l'entreprise Razel avec deux clauses spécifiques complémentaires, l'une concernant les parements béton (qualité, teinte), l'autre d'intéressement aux économies de quantité du tablier.

■ L'OUVRAGE EXÉCUTÉ

Caractéristiques générales

L'ouvrage comporte trois travées continues (42,25 - 137,50 - 42,25 m) (figure 7), sa largeur utile de 10,35 m correspond au passage de deux voies de circulation de 7,50 m entre bordures TRIEF, protégeant deux trottoirs de 1,00 m de largeur chacun, équipés de garde-corps formant barrière de sécurité à barreaudage vertical (B.N.B.V.) et de corniches architecturales préfabriquées en béton blanc. Le tracé en plan de l'ouvrage comporte depuis la culée C0 (côté Ajaccio) un cercle (R = 150 m) sur 9,18 m, une clothoïde (A = 80) sur 42,68 m, un alignement droit sur 124,28 m, à nouveau une clothoïde (A = 67,50 m) sur 37,96 m et enfin un cercle (R = 120 m) sur 7,89 m pour atteindre la culée C3. Bien entendu, la travée centrale de 137,50 m est droite, les déports transversaux sur pile étant récupérés au niveau du marquage des chaussées. En profil en long, toujours dans le même sens, on trouve une pente constante de 5 % sur 103,62 m puis une parabole (R = 4500) sur 118,38 m.

Les fondations et appuis

L'ensemble des appuis de l'ouvrage est fondé superficiellement sur le rocher affleurant, par l'intermédiaire de semelles rectangulaires en béton armé. Chaque pile, constituée d'un fût plein en forme de "I" (2,30 x 6,20) est surmontée d'un chevêtre (1,50 m) sur lequel s'appuie le tablier par l'intermédiaire de six appuis en Néoprène fretté de 800 x 800 x 6 (15 + 4) mm. Ces appuis sont excentrés par rapport à l'axe de la pile pour tenir compte de la dissymétrie transversale des réactions d'appuis induites par la courbure en plan du tablier. Il en va de même pour les fûts de piles par rapport aux semelles.

Les piles

Chaque pile est masquée par des murs esthétiques constituant une boîte fermée autour de la partie variable des travées de rive. Cette structure enveloppe indépendante du fût de pile est composée de :

- ◆ deux poteaux avant appuyés sur la semelle de la pile et deux portiques transversaux arrière fondés sur semelle isolée ;
- ◆ une série de poutres préfabriquées horizontales

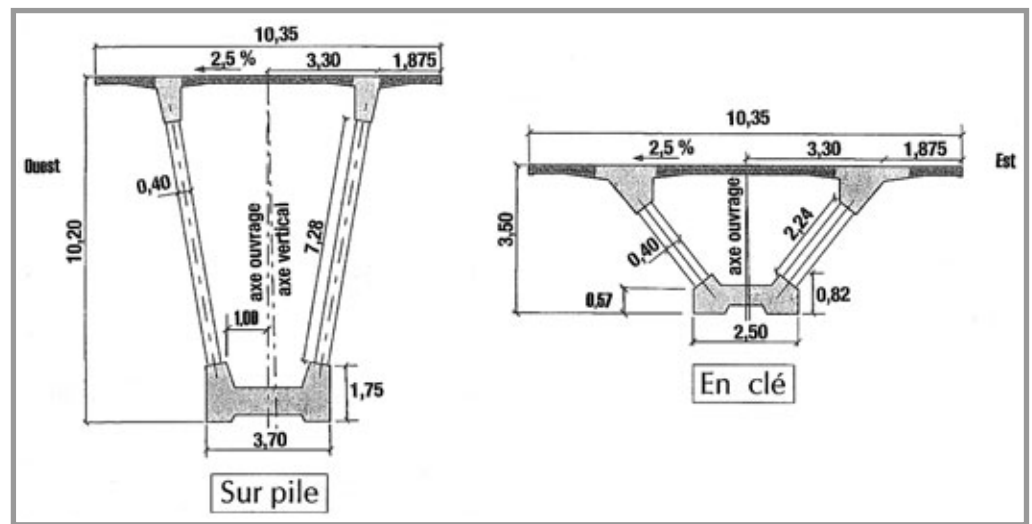


Figure 8
Coupes transversales exécution
Cross sections - Execution -
Central span

	Travées latérales	Centrale	Total
Béton B45 (m ³)	1 370	1 100	2 470
Acier passif (t)	200	170	370
Ratio (kg/m ³)	146	155	150

Tableau I
Table I

de section : 0,60 x 0,28 m clavées sur les portiques et poteaux venant ceinturer la boîte ;
◆ une série de panneaux d'habillage préfabriqués de hauteur 2,00 m et d'épaisseur 0,12 m fixés aux poutres au moyen d'une huisserie inox.

Les culées

Les deux culées d'extrémité C0 - C3 reprennent les réactions négatives de soulèvement exercées par le tablier. Le tenon d'about du tablier de 0,70 m s'appuie sur la culée par l'intermédiaire d'un appui spécial monodirectionnel de capacité 650 t, excentré de 2,22 m par rapport à l'axe général. Semblables, en partie haute, elles diffèrent suivant leur assise en partie basse.

C0 située en déblais rocheux, posée directement sur le rocher, comporte quatre tirants actifs précontraints 7T15S pour satisfaire aux critères de non décompression sur 75 % de la surface sous combinaison rare. C3 située sur une zone de granit altéré comporte en partie basse une boîte lest satisfaisant aux critères de décompression et reprenant partiellement l'excentricité de la réaction du tablier.

Les culées sont aussi "habillées" par les panneaux préfabriqués similaires à ceux des piles mais accrochés directement aux murs (sans ossature complémentaire).

Le tablier

C'est un monocaisson en béton précontraint (béton B45 - traction 3,5 MPa) très différent suivant les travées, la transition s'opérant au niveau du voussoir sur pile de 10,70 m de hauteur et 3,00 m de longueur.

La travée centrale rectiligne à âmes ajourées trapézoïdales préfabriquée

Le caisson triangulaire dont la hauteur varie paraboliquement de 10,20 m sur appui à 3,50 m en clé (figure 8) comprend :

- ◆ un hourdis supérieur de largeur totale de 10,35 m

Type	7T15S	12T15S	19T15S
n	80	8	14

Tableau II
Table II

Diamètre	50	40	36
n	160	64	32

Tableau III
Table III

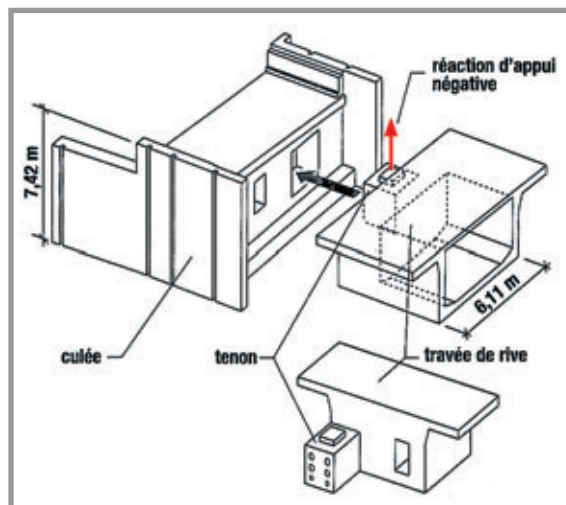


Figure 9
Liaison culée - travées de rive
Link between abutment and bank spans



Photo 2
Vue intérieure du câblage extérieur
Inside view of outside cabling

Photo 3
Poutre habillage P1
Beam - Trim P1



à pente transversale unique (2,5 %) avec deux nervures longitudinales au droit des âmes, deux encorbellements de 1,875 m d'épaisseur variable de 0,20 m à 0,35 m, et une partie centrale d'épaisseur constante 0,22 m et de largeur variable 4,46 à 5,13 m ;

- ◆ une membrure inférieure de largeur variant paraboliquement de 3,70 m sur appuis à 2,50 m à la clé. Elle est constituée d'un hourdis d'épaisseur variant paraboliquement de 0,80 m sur appuis à 0,25 m à la clé, encadré de deux nervures de largeur constante égale à 0,75 m ;

- ◆ deux âmes inclinées ajourées de forme trapézoïdale d'épaisseur constante égale à 0,40 m s'encastrent dans les membrures longitudinales des hourdis. L'inclinaison des âmes par rapport à l'horizontale varie ainsi de 51° environ à la clé à 80° sur appuis. Un programme spécifique a été développé pour déterminer les caractéristiques des sections et la géométrie des coffrages compte tenu de la variation simultanée de la hauteur du caisson, de l'épaisseur et de la largeur du hourdis inférieur.

Les travées de rive courbes à âmes pleines verticales

Le caisson, dont la hauteur varie linéairement de 10,20 m sur appuis à 5,50 m sur 12,0 m, puis de 5,50 m à 4,00 m vers la culée, comporte :

- ◆ un hourdis supérieur de largeur 10,35 m avec des encorbellements identiques à la travée centrale et une partie centrale de portée égale à 5,11 m et d'épaisseur à 0,35 m ;

- ◆ un hourdis inférieur de portée identique et de hauteur variant linéairement de 1,20 m sur appuis à 0,45 m sur 12,00 m, puis constante jusqu'à l'about du tablier ;

- ◆ deux âmes verticales d'épaisseur constante égale à 0,50 m jusqu'à 12,00 m des appuis puis 0,40 m jusqu'à la culée.

Le tablier se termine à chaque extrémité par une section pleine sur 2,00 m précédant le tenon d'about de 2,40 m de longueur et 1,80 x 1,80 de section. Excentré de 2,22 m par rapport à l'axe, il passe sous le portique solidaire de la culée pour constituer un système "tenon - mortaise" (figure 9).

La précontrainte

La précontrainte du tablier est mixte, partiellement intérieure au béton pour certains câbles de fléau, partiellement extérieure au béton et disposée dans des gaines PEHD injectées au coulis de ciment suivant le câblage longitudinal (figure 10) ci-après :

- ◆ deux paires de câbles intérieurs 7T15S droits en travée de rive ;

- ◆ dix-huit paires de câbles intérieurs de fléau 7T15S droits à raison d'une paire par voussoir arrêtés progressivement en travées de rive au moyen de nervures transversales ;

- ◆ quatre paires de câbles extérieurs 19T15S on-

dulés régnant sur la totalité de l'ouvrage avec des ancrages "croisés" sur piles (trois en travée centrale, une en travée de rive) (photo 2) ;

- ◆ quatre paires de câbles intérieurs de continuité 12T15S suivant la courbe de l'intrados et disposés dans la zone de clé de l'ouvrage.

A ces familles, il faut ajouter une précontrainte verticale intérieure à barres de diamètre variable (50, 40, 36 mm) fonction des efforts tranchants situés dans les panneaux d'âmes préfabriquées et dont le nombre varie de quatre Ø 50 mm par panneaux pour les voussoirs proches des appuis à deux barres Ø 36 mm pour le dernier voussoir avant clavage (figure 11 et photo 3).

LES ÉTUDES SPÉCIFIQUES

Les recherches pour le fonctionnement et la modélisation des panneaux

L'originalité structurelle du tablier en travée centrale confère à l'ouvrage un mode de fonctionnement particulier. L'entreprise en collaboration avec son consultant Michel Marchetti a analysé le comportement général à l'effort tranchant d'une poutre à âmes ajourées en notant que chaque panneau soumis à flexion s'oppose au glissement relatif des hourdis. La modélisation du panneau par une poutre classique est alors impropre car la variation rapide de la hauteur de la section entraîne un effet Résal important et le fonctionnement du panneau semble plutôt proche de celui d'une console courte ou d'un coin élastique chargé en son sommet (ceci est quelque peu contradictoire par rapport à un fonctionnement intuitif du tablier en treillis buton-tirant - figure 12).

Afin de retenir les meilleures options dans la conception de détail du projet, il a été recherché un modèle plus représentatif du fonctionnement mécanique des panneaux, en particulier, pour le cisaillement conventionnel (τ à la base du panneau) et pour déterminer les caractéristiques de rigidité du panneau et de la poutre classique équivalente à introduire dans le modèle de calcul phase par phase. A l'aide de ce programme, on détermine les sollicitations à la base du panneau (N, V, M), les contraintes, les aciers.

De façon similaire à la théorie classique des poutres, la poutre panneau est définie en prenant comme hypothèse de base que les sections perpendiculaires à la fibre inférieure restent planes.

Après un découpage de la poutre panneau en fibres convergeant au point d'intersection du triangle, il est procédé à l'évaluation de l'allongement par élément en décomposant les cas de charge (figure 13). Cette méthode de calcul et les programmes associés ont été validés suite à des tests de cohérence interne sur des cas limites (poutre de hauteur

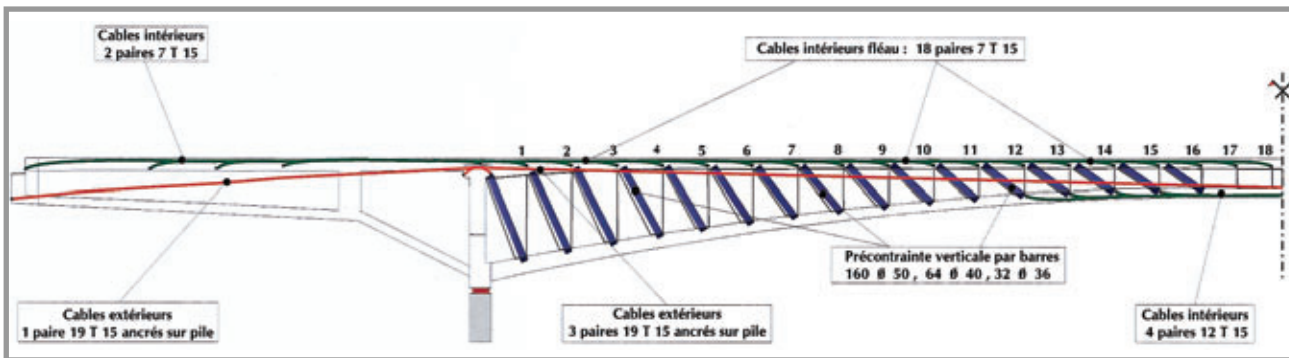


Figure 10
Câblage
demi-ouvrage
Cabling -
Half-structure

quasi constante) et par une comparaison avec des calculs aux éléments finis (programme HERCULE) effectué par EEG.

Cette recherche a donc abouti au développement de deux logiciels de calcul spécifiques :

- ◆ le premier dénommé EQUIV pour déterminer la poutre rectangulaire de hauteur variable équivalente à un panneau dans le cadre d'une modélisation à l'aide d'un programme à barres directement utilisable par ST1;

- ◆ le second dénommé VERPAN pour la vérification des contraintes et la détermination du ferrailage dans la poutre panneau trapézoïdale.

Les calculs

Deux calculs successifs à l'aide du logiciel ST1 du Setra ont été nécessaires. Le premier est entrepris avec un modèle unifilaire à barres activées selon le processus de construction. Pour la travée centrale où la section transversale comporte des âmes ajourées, on introduit les caractéristiques mécaniques des membrures supérieure et inférieure, et on tient compte des panneaux d'âmes par l'intermédiaire de la déformée d'effort tranchants.

Ce calcul permet le dimensionnement de la précontrainte de service et la mise au point du tracé des câbles, ainsi que l'établissement de la note de descente des charges avec fluage scientifique. Le second calcul définitif de flexion longitudinale de la structure a été réalisé avec un modèle spatial. Les principes généraux du calcul précédent sont repris avec cette fois-ci une modélisation "éclatée" et non plus unifilaire de la section transversale au moyen de plusieurs barres (une série par hourdis et par panneau d'âmes ainsi que des barres rigides de liaison entre ces éléments). Ce modèle comporte 432 nœuds et 578 barres dont 524 pour la travée centrale et 2 x 27 barres pour les travées de rives. Il a bien sûr été validé par de nombreux tests, notamment par comparaison avec les résultats du modèle unifilaire.

Le contrôle des calculs fait par EEG à l'aide du logiciel HERCULE a conduit à des résultats assez concordants, avec quelques écarts de contraintes en bords de panneaux.

Le programme VERPAN, a permis de déterminer le nombre et le diamètre des barres de précontrain-

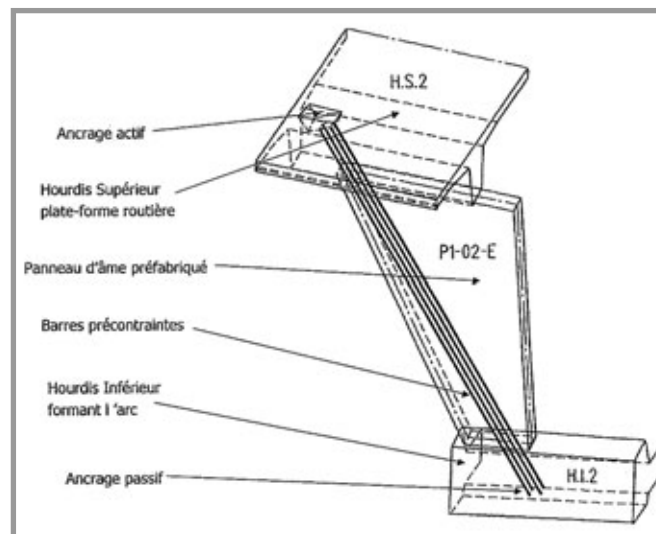


Figure 11
Perspective
demi-voussoir
Half-segment
perspective

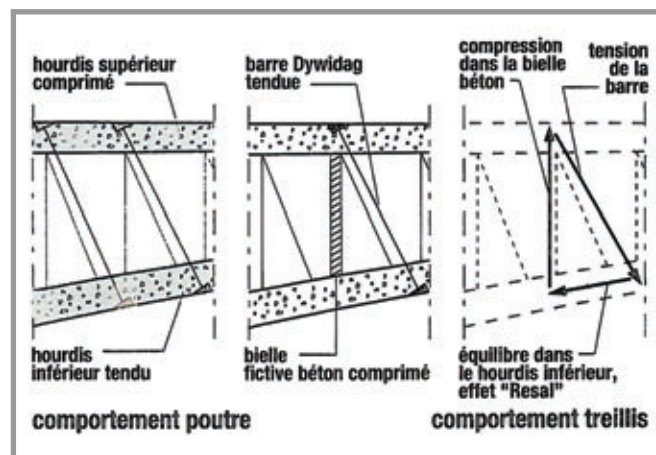


Figure 12
Comportement
schématique des âmes
ajourées
Schematic diagram -
Open-work webs

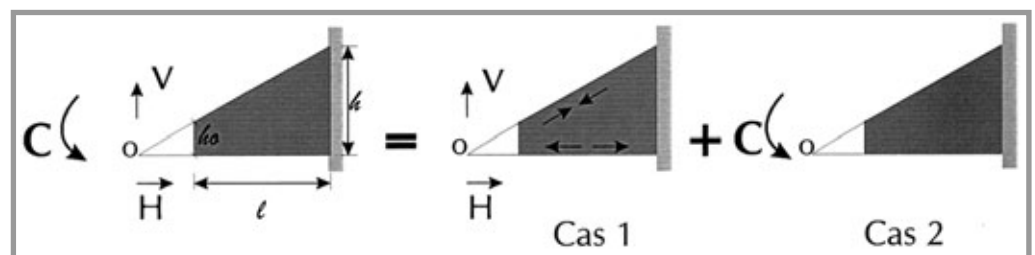
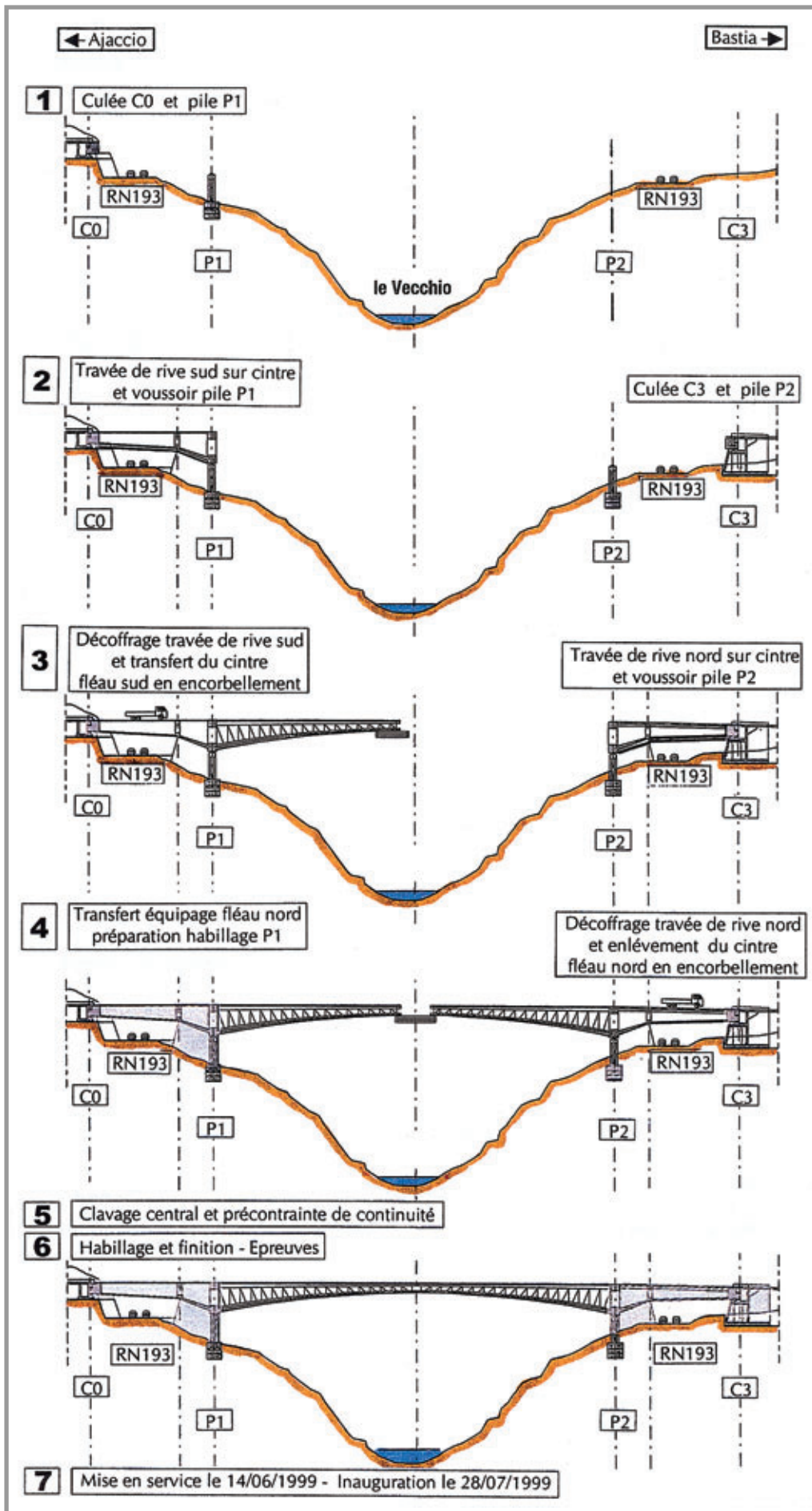


Figure 13
Schémas - Cas
Diagrams - Cases

te de chaque panneau, leur position en respectant les contraintes limites ELS quasi permanentes ($0,5 f_t = 1,65 \text{ MPa}$ - ELS rare $5,5 \text{ MPa}$). Après calcul des contraintes normales principales, le programme détermine des armatures longitudinales au voisinage



des fibres extrêmes, la position de l'axe neutre et les armatures transversales de couture.

CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

Le phasage général

Le phasage de réalisation (figure 14) intègre une réutilisation optimale des moyens et outils en préservant au mieux le site et en maintenant la circulation sur la route nationale stratégique et garantissant la sécurité.

◆ Phase 1 : construction des appuis côté sud (C0, P1) avec terrassements rocheux minima et sans recours aux explosifs sur les flancs de la vallée pour P1.

◆ Phase 2 : construction des appuis côté nord (C3, P2) sans explosifs pour la pile P2 très proche de la route. Construction de la travée de rive sud C0 - P1 sur cintre permettant le maintien de la circulation en dessous. Cette travée assure par la suite l'accès pour l'exécution de la travée centrale (ferraillage, précontrainte, âmes préfabriquées, béton).

◆ Phase 3 : réalisation du demi-fléau sud en encorbellements successifs de 3,60 m avec l'équipage mobile (photo 4) et construction de la travée de rive nord après récupération du cintre.

◆ Phase 4 : démontage des équipages, transfert sur pile P2 et réalisation du demi-fléau nord - Installation des structures d'habillage sud (photos 5 et 6).

◆ Phase 5 : clavage des deux demi-fléaux (3 m) et réalisation des structures d'habillage nord.

◆ Phase 6 : pose des panneaux d'habillage, corniches et garde-corps (photo 7), épreuves et mise en service 14 juin 1999. Aménagement des abords de l'ouvrage après basculement de la circulation.

Figure 14 Phases de construction

Construction phases

Photo 4
Fléau sud terminé
South arm completed



Les appuis

Les culées

Les terrassements des culées ont été réalisés à l'aide d'explosifs, avec prédécoupage. Le nivellement du fond de fouille a été réalisé par mise en place de béton de blocage. Les culées ont été réalisées à l'aide de coffrages traditionnels. Elles présentent une partie creuse permettant l'accès à l'arrière du tenon d'about du tablier, où sont situés de nombreux ancrages de câbles de précontrainte extérieure et l'appui de 400 t de capacité de soulèvement.

Les piles

Compte tenu de l'importante déclivité du terrain et de la proximité du vide (photo 8), pour éviter les risques de déstabilisation du massif rocheux sous-jacent, les terrassements des piles ont été réalisés au brise-roche hydraulique. Les volumes à terrasser étaient relativement modérés, compte tenu de la création de redans sous la semelle. Les piles BA supportant une file d'appui Néoprène (6000 t) ont été réalisées isolément des structures destinées à l'habillage. Ces dernières sont constituées de portiques en béton armé, servant en phase de construction comme appui de l'étalement de la travée de rive, sur lesquels sont clavées une série de poutres horizontales préfabriquées. Les panneaux d'habillage sont par la suite accrochés à cette ossature (photo 3).

Le tablier

Les travées de rive (photo 9)

Les deux travées de rive ont été construites successivement, avec réutilisation quasi totale du dispositif d'étalement. Le fond de moule a été réalisé

Photo 5
Fléau n° 2
Arm No. 2



Photo 6
Fléau n° 2
avant clavage
Arm No. 2
before keying



Photo 7
Finitions
Finishing



Photo 8
Terrassements
pile P2
Earthworks
pier P2



Photo 9
Travée sur cintre
P2 - C3
Span on centre
P2 - C3

Photo 10
Fléau sud
South arm



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Collectivité Territoriale de Corse (CTC) - Direction des Routes et des Infrastructures

Conseiller conception et assistance technique

L. Paulik - CETE de Lyon

Conseiller architecture

M. Mikaélian - Architecte

Maître d'œuvre

Service des Routes de Haute Corse

Conduite des travaux

BROA

Etudes de base et contrôle des études d'exécution

EEG

Contrôle extérieur sols

Simecsol

Coordination sécurité

SMA Ingénierie

Contrôle extérieur bétons, précontrainte, parements

CETE Nice, DDE 2B laboratoire - CETE Lyon laboratoire Clermont-Ferrand

Entreprises

Razel : titulaire du marché global

Etudes d'exécution

Razel TM et M. Marchetti consultant

Sous-traitants

- Beveraggi SA : bétons - agrégats
- Dywidag system : précontrainte
- Sysiphe Corse : ancrages sols
- SAE Prefa : préfabrication panneaux d'habillage
- Sofremi : pose panneaux
- Corse étanchéité : chape
- Corse enrobés : chaussées
- Batesti - Raffali - Mariani : accès à l'ouvrage

Cet ouvrage vient d'être nommé aux Rubans d'or 99 de la direction des Routes



Photo 11
Equipage mobile
Travelling formwork

sur platelage bois, avec calage par boîtes à sable. Tous les coffrages de parement vus ont été réalisés par panneaux en contreplaqué retraités en surface à chaque réutilisation. Le hourdis supérieur a été coffré à l'aide de prédalles en partie centrale. Chaque travée de rive a été coulée en trois plots dans le sens horizontal, et en trois levées dans le sens vertical (hourdis inférieur, âmes latérales, hourdis supérieur). L'entretoise et le tenon d'about, pièces massives en béton armé, servant ensuite d'ancrage pour la précontrainte extérieure ont été coulés séparément. Ces pièces, fortement ferraillées (300 kg/m³) et comportant de nombreuses réservations de fort diamètre pour la précontrainte, ont nécessité un soin d'exécution tout particulier, dû à leur importante sollicitation en phase de construction et d'utilisation.

La travée centrale

Le construction de la travée centrale s'est faite en encorbellement par fléau (photo 10) comportant 18 voussoirs de 3,60 m, avec un voussoir de clavage de 3,00 m de longueur, à l'aide d'un équipage mobile comprenant une partie haute et une partie basse quasiment indépendante (photos 11 et 12).

Les panneaux d'âmes de poids unitaire variable (5 à 20 t) ont été préfabriqués sur site, à proximité de la culée correspondant au fléau construit. Pour garantir un état de surface conforme aux spécifications du marché, l'entreprise a réalisé deux tables de coffrage en béton armé, sur lesquelles ont été coulés les panneaux en utilisant une cire de décoffrage. Les panneaux ont ensuite été mis en place dans l'équipage mobile avec une grue automotrice circulant sur la partie de fléau déjà réalisée, à l'aide d'un palonnier de pose équipé d'un vérin hydraulique facilitant leur positionnement.

La principale complexité d'exécution de cet ouvrage s'est située dans la conception et dans le calcul de l'équipage mobile avec une cinématique de déplacement complexe, incorporant la pose des âmes préfabriquées.

Le cycle de construction d'un voussoir, prévu de quatre jours, a été dans l'ensemble respecté hormis pour les premiers voussoirs (V1 et V2) correspondant au montage de l'équipage.

Après mise en précontrainte (câbles et barres), il est procédé à un déplacement partiel des équipages afin de permettre la pose des âmes préfabriquées s'appuyant par l'intermédiaire d'une structure provisoire, sur la partie de la membrure inférieure antérieure. Les équipages sont alors déplacés en position définitive. Après réglage et bridage des coffrages, le ferrailage est mis en place avec les gaines de précontrainte, le bétonnage est alors réalisé.

Pour le clavage des deux fléaux, l'âme préfabriquée rectangulaire a été insérée dans l'espace résiduel. Après matage de quelques centimètres, une précontrainte partielle des câbles de continuité a permis de compenser les légères tractions dues à l'effet température. L'époque du bétonnage a été judicieusement choisie afin de minimiser ses effets et des précautions particulières ont été prises pour éviter tout mouvement des fléaux.

LES BÉTONS ET INSTRUMENTATION

La mise au point des bétons a été délicate compte tenu de la nature des agrégats disponibles de la région, des caractéristiques requises (B45) notamment en jeune âge (traction et maniabilité) et fonction des temps de transport élevé (30 mn). En effet, les bétons ont été fabriqués dans une nouvelle centrale installée dans l'aire de concassage des agrégats aux alentours de Corte. Des réglages



Photo 12
Equipe mobile
Travelling formwork



Vue de l'ouvrage terminé
View of completed structure

progressifs ont été nécessaires pour cette nouvelle centrale.

Les parements ont été particulièrement soignés avec une définition précise des tolérances d'état de surface d'homogénéité d'aspect et de teinte par zone de l'ouvrage avec réalisation de panneaux témoins sur le chantier.

Préalablement au démarrage de la construction de la travée centrale, un demi-voussoir d'essai a été réalisé afin de s'assurer des conditions de mise en place du béton au voisinage des âmes préfabriquées, en particulier en partie inférieure (bétonnage en sous-face) et pour tester la liaison panneau d'âme-hourdis avec les barres de précontrainte.

L'ouvrage a été équipé de dispositifs de mesures extensométriques (cordes vibrantes) disposés judicieusement aux points sensibles de l'ouvrage (V3 - V9 - V18 - C0 - C1). Elles ont été utilisées en phase de construction pour analyser le comportement de l'ouvrage comparativement aux calculs d'exécution, et le seront en phase d'utilisation grâce à un système de télémétrie pour suivre le comportement de la structure.

Vue des trois ouvrages

View of the three structures



ABSTRACT

The Vecchio bridge in Corsica

L. Paulik

The exceptional 222 m long new road bridge, designed and built under extreme environmental conditions, crosses a 65 m deep canon located in the middle of the protected natural park of the famous Corsica island called "Ile-de-beauté", nearby a metallic railway viaduct, recently classified as an historic monument, designed by Eiffel.

To comply with this delicate situation, designers have developed a new structural concept for light concrete decks built by cantilever method for large spans (137,5 m).

The inclined webs of the triangular prestressed box girder variable in depth (up 3,50 m to 10,00 m) are made of trapezoidal prefabricated prestressed concrete panels.

Lightness, transparency, arch-effect are reinforced by architectural light concrete prefabricated panels placed around piers and on the abutments.

RESUMEN ESPAÑOL

El puente del Vecchio, en Córcega

L. Paulik

El puente de carretera que salva el río Vecchio, tiene una longitud total de 222 m, excepcional debido a su construcción, lo es también por las condiciones obtenidas de protección y del respeto del medio ambiente. Este puente salva la quebrada del torrente a una altura de 65,00 m, en pleno centro del parque natural protegido corso "Île de Beauté" frente al viaducto ferroviario metálico que realizó, en su época, Gustave Eiffel, estructura recientemente inscrita en el inventario de los Monumentos Históricos.

Con objeto de optimizar su integración, el equipo encargado de los estudios se ha visto conducido a desarrollar un nuevo concepto de tablero de gran luz (137,50 m), construido en voladizo, por tramos sucesivos.

Las almas inclinadas del cajón pretensado de altura variable (3,50 a 10,00 m) están formadas por paneles trapeciales prefabricados por pretensado.

El efecto de transparencia y de livianidad, de arco del tramo central se ha reforzado a nivel arquitectónico por un recubrimiento de los pilares y estribos, compuestos por paneles prefabricados de hormigón de tono claro.

Franchissement du Rhône Le pont haubané de

Le pont de Beaucaire Tarascon franchit le Rhône sur une longueur de 410 m avec une travée centrale de 192,80 m. Il s'agit du maillon le plus important de la déviation des deux agglomérations. Il a fait l'objet de nombreuses attentions et son aspect architectural en fait une porte prestigieuse entre les départements du Gard et des Bouches-du-Rhône. L'ouvrage innovant, en cours d'achèvement début 2000, comporte un tablier très mince en béton haute performance précontraint supporté par 4 nappes latérales de haubans accrochés à deux pylônes en forme de lyre de 67 m de hauteur.

L'ouvrage de franchissement du Rhône d'une longueur de 410 m est un pont haubané à tablier en béton précontraint, comprenant cinq travées (25,55 m - 81,80 m - 192,80 m - 81,80 m - 25,55 m) (figure 1).

Le tablier de 12,10 m de large, porte deux voies de circulation. En section courante, il est constitué d'une dalle nervurée en béton précontraint de hauteur variable (0,22 m - 0,80 m) et munie d'entretoises transversales précontraintes par fils adhérents (au pas de 3,64 m) (figure 2).

Aux extrémités de l'ouvrage, la section est pleine (0,80 m) et conserve la même géométrie extérieure.

Deux pylônes, en forme de lyre, situés dans le lit du Rhône, d'une hauteur totale de 67 m dont 60 m au-dessus du niveau de l'eau et 40 m au-dessus du tablier, assurent l'ancrage du haubanage constitué de deux nappes latérales en éventail (2 x 4 nappes de 12 haubans).

Les ancrages des haubans sur le tablier sont espacés longitudinalement de 7,28 m.

■ APPUIS

Culées

Elles sont fondées en tête des remblais d'accès sur deux pieux de Ø 1,20 m et longueur 30 ml et tubés sur 10 ml. Murs en retour cannelés suspendus.

Pilettes P1 et P4

Ce sont deux doubles fûts cylindriques (hauteur 10 à 12 ml, semelle hauteur 1,50 ml) fondés sur deux pieux Ø 1,20 m (longueur 23 ml).

Pylônes P2 et P3

Ils comportent deux entretoises : une entretoise haute au niveau de l'accrochage des haubans et une entretoise basse qui supporte le tablier, par l'intermédiaire d'appareils d'appuis en néoprène, munis de dispositifs de blocage transversaux pour la reprise des efforts dus au vent. Elle est précontrainte transversalement par huit câbles 12 T 15S. Les pylônes sont fondés sur six pieux Ø 2,00 m fondés sur les marnes à 23 m environ par rapport au fond du lit du Rhône et tubés sur toute la hauteur (Travaux n° 753).

Ils sont liaisonnés en tête par une semelle circulaire de 2,75 m d'épaisseur. Elle est réalisée à l'intérieur d'un batardeau en palplanches circulaires de Ø 14,50 ml, étanché par un massif gros béton armé de 2,75 m d'épaisseur.

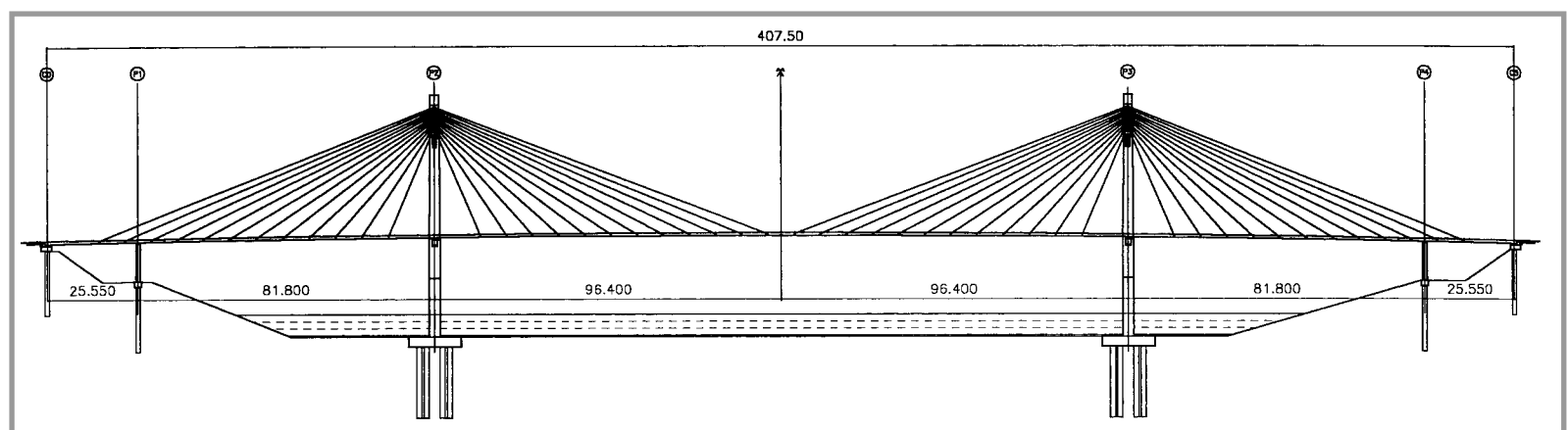
Dans la semelle est incorporé le châssis de la grue à tour type K40/27 montée ultérieurement dans le batardeau.

Photo 1
Coffrage pylône
levée n° 3

Tower formwork,
embankment No. 3



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



Beaucaire Tarascon

Claude Letey
DIRECTEUR NATIONAL
DU DÉPARTEMENT
TRAVAUX PUBLICS ET GÉNIE CIVIL
Léon Grosse

Alain Chauvin
GÉRANT
B.E. Structures

Philippe Bonneval
DIRECTEUR DES TRAVAUX
Léon Grosse

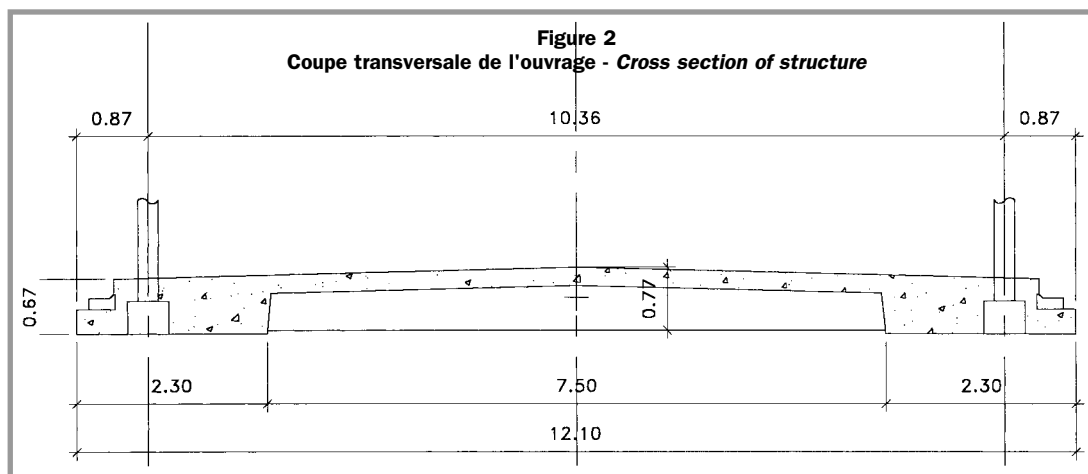
Pierre Mouchel
INGÉNIEUR TRAVAUX
Léon Grosse

Pierre Sandrini
PROJETEUR MÉTHODES
Léon Grosse

Calogero Nola
CHEF DE CHANTIER
Léon Grosse

François Pellier
DIRECTEUR ETUDES ET MÉTHODES
Léon Grosse

Jean-Luc Bringer
INGÉNIEUR MÉTHODES
Freyssinet



■ RÉALISATION DU PYLÔNE

Levées 1 à 4 sous entretoise inférieure (photo 1)

La levée n° 1 est réalisée sur une seule hauteur de 12 m.

Le coffrage est composé pour les faces planes de coffrages mixtes fabriqués par Léon Grosse et pour les abouts circulaires et toriques de moules bois fabriqués par l'atelier de coffrage de l'entreprise, montés sur des filières cintrées.

Pour les levées 2, 3 et 4 respectivement de 6 m, 3,50 m et 5 m de hauteur, l'entreprise a mis en œuvre, pour les faces verticales planes, des coffrages mixtes Sateco TP Plus et réutilisé les abouts circulaires et toriques pour chaque levée.

La stabilité des coffrages sur les pylônes en cours de construction est assurée sur des passerelles conçues et réalisées par l'entreprise Léon Grosse.

Levée 5

Cette levée correspond à l'entretoise inférieure pré-contraînte longitudinalement par huit câbles 12T15. La réalisation des branches et du barreau est conduite sur des consoles et sur un étaieement central appuyé aux naissances des branches du pylône.

Concernant l'ensemble des levées 1 à 5 incluse, tous les coffrages ont été habillés, assemblés et montés en éléments unitaires transportables (maxi 3,20 m) dans l'atelier de charpente de Léon Grosse à Aix-les-Bains.

Tous les coffrages spéciaux arrondis, et fourrures de toute nature ont également été conçus et réalisés par cet atelier de charpente.



Levées 6 à 11 - Bras du pylône

(photos 2 et 3)

Une des particularités géométriques des pylônes est que les quatre faces varient deux à deux sur la hauteur des bras, à savoir :

- ◆ section pylône basse levée 6 : 2,20 x 3,00 ;
- ◆ section pylône haute levée 11 : 1,80 x 2,40.

Pour la hauteur de chacun des bras (environ 25 ml) les levées ont été réalisées en coffrage grim pant Peri Vario GT24 d'une hauteur unitaire de 4,10 m, soit six levées entre les deux entretoises.



Photo 3
Coffrage pylône - Exécution des bras -
Vue générale

**Tower formwork - Execution of arms -
General view**

Photo 2
Coffrage pylône -
Exécution des bras

**Tower formwork -
Execution of arms**



Photo 4
Coffrage pylône
Tower formwork



Photo 5
Tête d'ancrage des haubans
Cable anchoring head



Photo 6
Etalement de rive
Bank shoring



L'outil coffrant a été réalisé avec trois faces permettant de coffrer de la plus grande à la plus petite des dimensions. La face extérieure est ajustée à chaque levée à la bonne cote, la présence de l'engravure filante permettant de faire coulisser le panneau extérieur à sa géométrie.

L'ensemble du chantier a été réalisé avec deux jeux de consoles platelage et un jeu de coffrage complet passant alternativement du bras amont au bras aval avant de passer à la levée supérieure.

Un buton provisoire a été placé dès la réalisation de la levée 8 et avant d'enchaîner les levées supérieures il a été démonté après décentrement de l'entretoise haute.

Levée 12 (entretoise supérieure) et levées supérieures 13 à 16

(photo 4)

La levée 12 a été réalisée comme la levée 5 avec l'utilisation de banches Sateco TP Plus, hauteur 3,50 m habillées de fourrures et de coffrages bois spécifiques pour les abouts de branches du pylône et la sous-face. Cette levée incorpore deux séries de tiges d'ancrage destinées à reprendre la pièce haute d'ancrage des haubans.

Les levées 13 à 16 sont réalisées autour de cette pièce qui est posée et réglée préalablement. Elles ont été réalisées avec un autre coffrage grim pant type Péri (hauteur 3 m à 3,50 m) avec des rajouts de coffrage sur les deux faces latérales à chaque levée. Compte tenu de la présence de la pièce métallique et de la nature des aciers qui la constitue, il n'est pas possible d'utiliser des tiges traversantes.

Les filières du coffrage ont donc été dimensionnées pour reprendre seules la poussée du béton. Pour l'ensemble des levées 6 à 11 et 13 à 16, le ferrillage a été préfabriqué et préassemblé par levée.

L'ensemble de la partie supérieure du pylône avec l'entretoise représente 115 m³ de béton type B40 pour un ratio d'aciers d'environ 130 kg/m³.

PIÈCES D'ANCRAGE HAUT DES HAUBANS (photo 5)

Les deux nappes latérales de douze haubans sont ancrées en partie supérieure dans les bras de chaque pylône par l'intermédiaire d'une pièce métallique constituée de deux flasques latérales en tôle de 20 mm de dimensions 8,00 x 2,70, libérant un vide central de 0,60 m dans lequel sont soudées les lames en tôle de 25 à 30 mm disposées en "persienne" suivant des angles variables donnant la direction de départ de chacun des douze haubans (angle de 21° à 67° à l'horizontal). Ces pièces sont au nombre de quatre.

Chaque pièce en "persienne ou lame de volet" d'un poids total de 12 t est fabriquée en usine.

Une fois fabriquée et peinte, elle est transportée sur le site par transport exceptionnel, puis elle est chargée depuis le quai amont en rive droite et transportée par barge sur le Rhône au pied du batardeau du pylône et hissée à l'aide de la grue à tour au-dessus de l'entretoise supérieure où des ancrages permettent d'assurer sa stabilité et son assise.

Après un ultime réglage, les levées supérieures 13 à 16 de chaque bras du pylône peuvent continuer pour réaliser l'ancrage définitif de chaque pièce avec le béton.

TABLIER

En section courante, le tablier est une dalle nervurée précontrainte de 0,80 m de hauteur totale. Les deux nervures longitudinales de 2,30 m de largeur sont reliées longitudinalement par un hourdis de 0,22 m d'épaisseur, raidi par des entretoises espacées tous les 3,64 m. Ces entretoises sont préfabriquées et précontraintes par prétension.

Sur une longueur de 30 ml environ, à partir de chaque culée, le volume compris entre les nervures est rempli de béton afin de "lester" le tablier sur les pilettes et les culées et d'éviter tout soulèvement en rive lors du chargement de la travée centrale.

Les haubans sont ancrés sous les nervures du tablier dans des niches permettant de masquer en partie les pièces d'ancrage (possibilité de remplacement des haubans ou réglage de la tension des haubans).

La précontrainte longitudinale est constituée d'ar-

matures 19 T 15S, logées dans les nervures et ancrées dans des bossages liaisonnés au hourdis supérieur.

Les haubans sont composés de torons type T15S galvanisés sous gaine individuelle (torons gainés, protégés) et disposés dans une gaine générale en PEHD en double hélice (pour réduire les problèmes vibratoires dus au vent et à la pluie), avec une couche extérieure colorée.

La section de chaque hauban est optimisée en fonction des efforts à reprendre (10 ou 19 torons). Ces haubans sont ancrés sur le tablier et en tête du pylône au travers d'une pièce métallique d'ancrage haute.

■ TECHNIQUE ET MÉTHODES DE RÉALISATION

Dans le tablier on distingue deux géométries et deux techniques de réalisation différentes :

- ◆ tablier coulé sur cintre en rives droite et gauche sur une longueur de 45 ml (30 ml d'épaisseur constante, 0,80 ml servant de "lest" et 15 ml de dalle nervurée);
- ◆ tablier coulé sur équipage mobile depuis chaque pylône pour l'ensemble de la dalle nervurée.

Tablier coulé sur cintre (photo 6)

L'entreprise a retenu une solution constituée de trois files de palées provisoires en tube métallique Ø 914 battu recevant des cintres en profils HEB 800 et 600 et un coffrage traditionnel (panneaux bois) pour réaliser cette partie d'ouvrage.

Les cintres ont été retirés après mise en œuvre partielle de la précontrainte de la partie pleine (dix câbles).

Cette partie coulée sur cintre sert principalement de point d'ancrage aux haubans de retenue du pylône, activés à partir du voussoir n° 4 réalisé en encorbellement symétrique.

Tablier réalisé sur équipage mobile (photos 7 et 8)

On distingue les quatre configurations successives décrites ci-après.

Fléaux symétriques

Réalisation d'un voussoir sur pylône (VSP) de 13,80 ml et de sept voussoirs courants de 7,28 ml côté rives et côté centre. Cette construction est conduite à l'aide de deux équipages mobiles retenus par des haubans provisoires (ou haubans d'équipage) disposés de chaque côté du pylône, y compris pour la réalisation du voussoir non courant (V.S.P.). On coule de façon symétrique le voussoir côté centre (Rhône) puis le lendemain celui côté rive, afin de rétablir l'équilibre de la "balance".



Photo 7
Double encorbellement -
Réalisation
des voussoirs n° 5
*Double cantilever -
Completion
of segments No. 5*



Photo 8
Double encorbellement -
Réalisation
des voussoirs n° 6
*Double cantilever -
Completion
of segments No. 6*



Photo 9
Surencorbellement -
Réalisation
du voussoir n° 9
*Overhang -
Completion
of segments No. 9*

A partir du voussoir n° 4, il est mis en œuvre une paire de haubans provisoires de retenue sur les emplacements du hauban n° 11 côté rive (HR 11). Ceux-ci sont activés lors de la réalisation du voussoir centre puis détendus lors du coulage du voussoir de rive correspondant.

Clavage de rive

Pour le clavage de rives (droite et gauche), l'équipage côté rive voit son "nez" démonté pour passer sous la partie coulée sur cintre. Il est alors bridé au fléau d'une part, et à la travée de rive d'autre part, après réglage géométrique. Le voussoir est alors bétonné avant son homologue V8 côté centre.

Surencorbellement central (photos 9, 10 et 11)

Il s'agit des voussoirs côté centre n° 8 à 12 de même longueur 7,28 ml que les voussoirs courants et pour lesquels il y a lieu de conserver un hauban

Photo 10
Surencobernement -
Vue de dessous
*Overhang -
Bottom view*



Photo 11
Surencobernement -
Vue de dessus
*Overhand -
Top view*



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Béton fondations et appuis - B30/B30FI/B40 : 5500 m³
- Béton tablier B 60 BHP : 2500 m³
- Aciers précontrainte 19 T 15 : 125 t
- Aciers haubans 10 à 19 T 15 : 180 t
- Aciers HA : 1 000 t



de retenue. Avec le bureau d'études Structures, l'entreprise a choisi d'utiliser les haubans de rive n° 12 en retenue permanente avec une fraction seulement des torons tendus (12 sur 19). Après la réalisation du fléau P2 de façon identique jusqu'au voussoir n° 12, l'équipage central est glissé sous le voussoir 12/P3, puis bridé sur les deux fléaux et clavé sur une longueur de 4,28 ml.

■ PHASAGE ET CYCLE DE RÉALISATION

Voussoirs non courants : VSP et V1 sont réalisés sur les deux équipages de 18 ml installés en butée contre le barreau inférieur du pylône avec appuis sur quatre palées provisoires appuyées au fond du batardeau.

A partir du voussoir n° 2, le cycle courant est de deux voussoirs symétriques, puis d'un voussoir central à compter du voussoir n° 8.

Le voussoir côté centre est bétonné le premier (jeudi après-midi) et le voussoir côté rive le vendredi matin, ceci afin d'obtenir une résistance minimale de béton de 31 MPa le lundi matin pour la mise en œuvre des haubans définitifs.

La cinématique d'un cycle courant est la suivante (figure 3) :

- ◆ équipage en fin de cycle précédent, haubans définitifs "n-1" tendus, avancement de l'équipage à l'aide de vérins hydrauliques par roulage sur chariot;
- ◆ équipage en place, vérification position géométrique, alignement, activation de la "butée anti-recul" sur le voussoir précédent pour reprendre l'effort horizontal résultant des haubans provisoires;
- ◆ fixation avant de l'équipage sur le voussoir "n-1";
- ◆ mise en tension des haubans provisoires pour avoir un alignement rectiligne de l'équipage;
- ◆ fixation arrière de l'équipage sur le voussoir "n-2"; l'équipage est alors prêt à recevoir les éléments pour la réalisation du voussoir "n";
- ◆ pose des poutres transversales à fil adhérent (entretoise : 2 unités/voussoir);
- ◆ mise en œuvre des coffrages;
- ◆ mise en œuvre des armatures : 5 t par voussoir;
- ◆ réglage géométrique et mise en place de cales d'épaisseur variable de façon à obtenir une cassure de 5,3 mm (construction d'un cercle de 10000 de rayon avec des éléments rectilignes de 18 ml). On utilise une succession de lignes géométriques brisées représentant un cercle approché : c'est la cassure;
- ◆ tension initiale T0 des haubans provisoires : elle est calculée par l'entreprise et le bureau d'études pour chaque position de hauban provisoire afin d'avoir une flèche nulle au point de mesure du voussoir "n";
- ◆ bétonnage du voussoir "n" : volume de 33 m³ de

B60 par voussoir mis en œuvre par palier de 6 m³ avec tension des haubans provisoires suivant une courbe linéaire définie préalablement par l'entreprise pour chaque voussoir.

En fin de bétonnage, ajustement de la tension et de la géométrie finale.

■ MISE EN TENSION DES HAUBANS DÉFINITIFS ET MANIPULATION DES HAUBANS PROVISOIRES

Cette prestation est assurée par l'entreprise Freyssinet. Pour tous les haubans, la mise en tension est effectuée en alternance de part et d'autre du pylône.

Freyssinet travaille en haut du pylône pour la détension des haubans provisoires d'équipage et sur l'équipage pour la mise en tension des torons définitifs.

Dans le cycle hebdomadaire de réalisation, l'intervention de l'entreprise Freyssinet a lieu le lundi matin après maturation du béton durant le week-end. L'entreprise met en place les gaines PEHD préalablement préparées avec un toron dit "pilote", puis enfle individuellement tous les autres torons (entre 10 et 19 suivant les haubans). Lors de cette phase, l'entreprise vise 80 % de la tension initiale (méthode de l'isotension). Les haubans provisoires sont détendus suivant 4 paliers successifs de 25 % et cela alternativement de chaque côté du pylône. Le mardi matin, à une heure matinale garantissant un équilibre thermique de la structure entre les haubans et le béton, l'entreprise procède à un relevé géométrique des points de contrôle des derniers voussoirs en absolu. La position relevée est comparée à la phase correspondante du modèle de calcul et l'application d'un programme de calcul développé conjointement avec le BET Structures, permet de définir l'allongement final à mettre en œuvre pour obtenir la tension finale.

Cet exercice est réalisé le mardi matin ; une fois "cet affinage" des haubans définitifs fait, le voussoir est réglé au plus proche de la géométrie théorique de la phase de construction concernée et l'entreprise peut alors procéder à la descente et au ripage des deux équipages (mardi après-midi) pour une intervention de l'entreprise de ferrailage (Cepaba) les mercredi et jeudi. Ceci permet de respecter le bétonnage côté centre le jeudi après-midi et celui côté rive le vendredi matin, et de reprendre le cycle le lundi suivant.

■ QUALITÉ D'EXÉCUTION

Au moment de la rédaction de cet article, le fléau du pylône P3 est achevé et mis en position d'attente de clavage. La géométrie constatée est dans

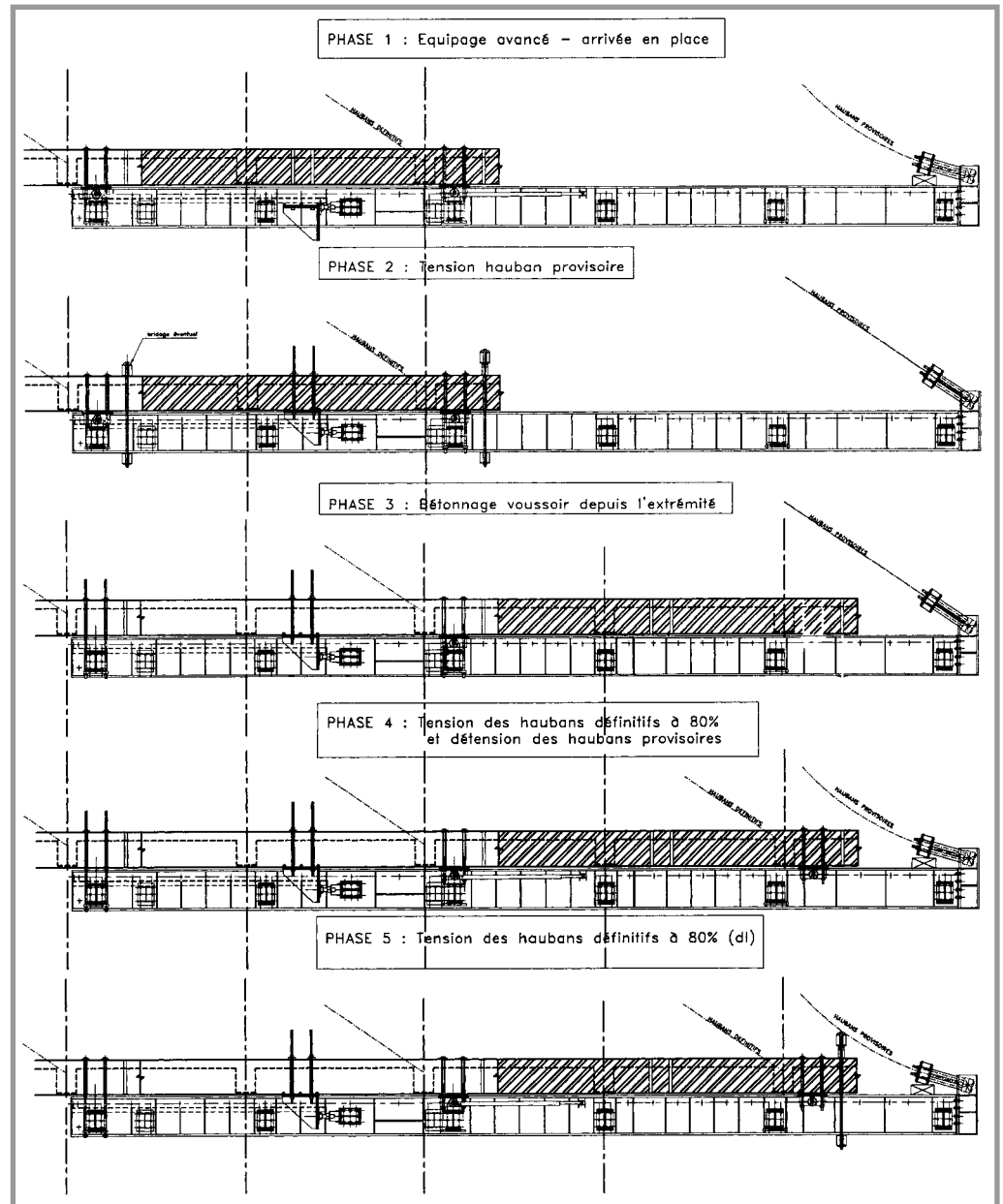


Figure 3
Cinématique
d'un voussoir courant
Diagram
of an intermediate segment

un fuseau de tolérance de 1 cm par rapport au modèle théorique de calcul. La méthodologie proposée par l'entreprise pour le pilotage géométrique du tablier a donné des résultats remarquables, bien meilleurs que les tolérances usuelles.

Les aspects de parement (photos 3, 4 et 5) et qualité des bétons ont été obtenus avec des peaux coffrantes en contre-plaqué filmé pour le tablier et non filmé pour les pylônes.

■ ÉQUIPEMENTS DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est équipé des éléments suivants :

- ◆ appareils d'appui en Néoprène sur chaque pylône avec système de blocage métallique ;
- ◆ appareils d'appui à pot sur pilettes et culées ;
- ◆ étanchéité : chape mince préfabriquée protégée par une couche de 8 cm de béton bitumineux ;
- ◆ remblais contigus aux culées avec éléments drainants posés sur caniveau collecteur ;

- ◆ dalle de transition aux deux extrémités sur 4 ml de long;
- ◆ joints de dilatation (joints de chaussée et joints de trottoir) permettant un souffle de 350 mm;
- ◆ dispositifs de retenue : garde corps côté extérieur avec métallisation et peinture;
- ◆ barrière de sécurité type BN4 côté chaussée;
- ◆ corniches caniveau en béton préfabriqué désactivé côté Rhône, revêtues d'un film d'étanchéité côté caniveau;
- ◆ fourreaux de réservation pour éclairage mis en œuvre dans les longrines;
- ◆ repères topométriques et repères de nivellement.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Département des Bouches-du-Rhône

Maître d'œuvre

- Services Techniques du Conseil général
- Direction des Routes, Transports et Equipements (DRTE). Arrondissement d'Arles

Architecte

Charles Lavigne

Concepteur

Setra

Assistance technique principale du maître d'œuvre

Setra, CETE Méditerranée, Michel Virlogeux (conseiller du Setra)

Groupement d'entreprises

- Léon Grosse (génie civil) mandataire
- Bauland (travaux fluviaux)

Principaux sous-traitants et fournisseurs

- Etudes d'exécution : Structures
- Haubans - Précontrainte : Freyssinet
- Fourniture et pose d'armatures : Cepaba
- Pièces de pont précontraintes par fils adhérents : Composants Pre-Contraints
- Pièces métalliques d'ancrage des haubans – En-tête de pylône : Tonda - Berthier
- Joints de chaussée et trottoirs : Cipec
- Fourniture des bétons : Redland - Lafarge puis Unibéton
- Laboratoire chantier : Sigma Béton

Montant du marché

60 millions de francs HT

Financement

Départements des Bouches-du-Rhône et du Gard, Régions PACA et Languedoc Roussillon, Communes de Tarascon et de Beaucaire

ABSTRACT

Crossing the Rhone. The Beaucaire Tarascon cable-stayed bridge

*Cl. Letey, A. Chauvin, Ph. Bonneval,
P. Mouchel, P. Sandrini, C. Nola, Fr. Pel-
lier, J.-L. Bringer*

The Beaucaire Tarascon Bridge crosses the Rhone along a length of 410 m with a central span of 192.80 m. It is the most important link in the by-pass of the two towns. Careful attention has been given to its design, making it a prestigious gateway between the Gard and Bouches-du-Rhône regions. The innovative structure, scheduled for completion early in 2000, includes a very thin deck in high-performance prestressed concrete supported by four clusters of stay cables secured to two lyre-shaped towers 67 m high.

RESUMEN ESPAÑOL

Franqueo del río Ródano. El puente de tirantes de Beaucaire Tarascon

*Cl. Letey, A. Chauvin, Ph. Bonneval,
P. Mouchel, P. Sandrini, C. Nola, Fr. Pel-
lier y J.-L. Bringer*

El puente de Beaucaire Tarascón salva el río Ródano sobre una longitud de 410 m, con un tramo central de 192,80 m. Se trata del eslabón más importante de la variante de las dos aglomeraciones urbanas. Este puente ha sido objeto de numerosas atenciones y su aspecto arquitectónico hace del mismo una puerta prestigiosa entre los departamentos del Gard y de Bouches du Rhône. Esta estructura, realmente innovadora, está en su fase final para su terminación a principios del año 2000 y consta de un tablero sumamente fino de hormigón pretensado de elevadas características, soportado por cuatro hileras laterales de tirantes, fijados en dos pilares en forma de lira de 67 m de altura.

Le pont sur le Boulès à Millas (Pyrénées Orientales)

Guy Fontaine
RESPONSABLE OUVRAGES D'ART
Gagne Constructions métalliques

Michel Panabiere
RESPONSABLE OUVRAGES D'ART
Conseil Général (Pyrénées-Orientales)

Le Conseil général des Pyrénées Orientales a décidé en 1998 la reconstruction du pont de la route départementale 46 sur le Boulès à Millas. Le tablier existant, trop étroit et limité en tonnage (8 t) était constitué d'un treillis métallique de type croix de Saint-André qui nécessitait une remise en état complète de l'ossature. Cet ouvrage présentait par ailleurs une section hydraulique insuffisante. Pour toutes ces raisons, l'ouvrage a été reconstruit de novembre 1998 à juin 1999.

La nécessité de relever l'intrados du nouveau tablier de 1,00 m pour dégager un gabarit hydraulique supplémentaire et l'obligation de réduire au minimum le relèvement du profil en long (existence de seuils à proximité de l'ouvrage) ont conduit le maître d'œuvre à projeter un tablier extrêmement mince de l'ordre de 60 cm d'épaisseur. La solution retenue pont Warren à dalle en béton armé se veut également un clin d'œil à l'ouvrage remplacé.

Les poutres sont espacées de 10,00 m pour 2,80 m de hauteur. La longueur totale entre appuis est de 32 m. Le profil en travers dégage une chaussée de deux voies de 3 m, deux sur largeurs de 1 m et deux trottoirs caniveau technique de 0,50 m.

Les culées existantes ont été conservées et enserrées entre deux fûts posés chacun sur un pieu de diamètre 1.200. Un chevêtre d'appuis relie les deux fûts. L'ouvrage dispose de butées antisismiques. Il se prolonge par des murs courbes liés aux dalles de transition.

Une attention particulière a été portée au problème de connexion de la dalle avec la charpente afin de limiter les effets de retrait du béton sur l'ossature. L'ouvrage dispose de neuf entretoises. Les trois entretoises centrales ont été connectées au moment du bétonnage du tablier ; les autres entretoises ont été connectées vingt-huit jours après et en limitant la connexion à la partie haute des goujons afin de permettre leur déformation sous le déplacement de la dalle et limiter les efforts sur les pièces de pont.

Le béton utilisé a été dosé à 350 kg de ciment PMES et adjuvanté avec 1 % de Glénium 27, ainsi une résistance de 52 MPa a été obtenue à vingt-huit jours.

L'esthétique et les contraintes techniques ont trouvé leur aboutissement dans la réalisation des nœuds de jonction entre les membrures, les diagonales et les traverses. Pour cela, les poutres sont d'épaisseur constante. Les amorces des diagonales font partie intégrante des âmes de membrures et les traverses viennent se souder naturellement sur



Montage à blanc en atelier
Trial assembly in the plant



Pose à la grue
Crane erection



Simplicité des nœuds d'assemblage
Simplicity of assembly nodes



Ouvrage terminé
Completed structure

celles-ci. On obtient ainsi des nœuds très dépouillés, respectant parfaitement les flux de contrainte.

Le calcul de l'ossature métallique est réalisé avec les programmes ARIANE de Florpylog et MIXTE du CTICM. Les plans sont établis à l'aide du programme CMAO de l'entreprise Gagne qui permet une définition spatiale de l'ensemble de l'ouvrage et des moindres détails. Il crée également les programmes de perçage, de sciage et d'oxycoupage pour les machines à commande numérique.

Les membrures et diagonales de poutres ainsi que les traverses sont découpées par oxycoupage dans des tôles en acier S355 K2 G3.

Les caissons des membrures sont assemblés et soudés par procédé automatique sous flux solide. Les poutres latérales sont bâties sur un gabarit pour permettre l'adaptation exacte des diagonales, qui sont reconstituées directement sur celui-ci.

Un montage à blanc complet de l'ouvrage est réalisé conformément au plan d'assurance qualité de l'entreprise.

L'ossature est ensuite transportée sur le site par convoi exceptionnel.

Le montage s'effectue à l'aide d'une grue de 150 t située sur une culée. Les poutres sont mises en place et immobilisées à l'aide de bracons fixés dans le chevêtre. Les traverses sont ensuite posées entre les poutres et maintenues sur les membrures inférieures par des clames positionnées lors du montage à blanc.

Après réglage de l'ensemble, les traverses sont soudées sur les poutres par des soudeurs agréés suivant des modes opératoires homologués. Les contrôles sont réalisés suivant les indications du plan de contrôle.

La protection de l'ensemble de l'ossature est assurée par un complexe Feitag agréé ACQPA. Celui-ci comprend un grenailage DS 2,5 et trois couches de peinture. Le grenailage et les deux premières couches sont réalisés en atelier. Les retouches et la troisième couche sont appliquées sur le site après achèvement du hourdis béton.

ABSTRACT

The bridge over the Boulès in Millas

G. Fontaine, M. Panabière

The regional council of the Pyrénées Orientales region decided in 1998 to rebuild the bridge on departmental road 46 over the Boulès River in Millas. The existing deck was too narrow and of limited carrying capacity (8 t), consisting of a steel lattice of the Saint-André cross type requiring complete rehabilitation of the structural steelwork. This structure moreover exhibited an insufficient hydraulic section. For all these reasons, the structure was reconstructed between November 1998 and June 1999.

RESUMEN ESPAÑOL

Puente sobre el río Boules, en Millas

G. Fontaine, M. Panabière

La Diputación Provincial del departamento de los Pirineos Orientales, tomó la decisión - en 1998 - de reconstruir el puente de la carretera departamental 46 que atraviesa el río Boules, en la localidad de Millas. El tablero existente, demasiado estrecho y de una capacidad de carga limitada (8 t) estaba formado por una estructura de celosía metálica del tipo cruz de San Andrés, que precisaba una rehabilitación completa de la armadura. Asimismo, esta estructura presentaba una sección hidráulica insuficiente. Por todos estos motivos, este puente ha sido reconstruido entre noviembre de 1998 y junio de 1999.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Département des Pyrénées-Orientales

Maître d'œuvre

Direction des Routes - Pôle ouvrages d'art

Bureau de contrôle métal

IOA

Contrôle béton

Laboratoire départemental

Vérification calculs

Eulogos

Titulaire du marché

Fondeville

Bureau d'études

CTB

Sous-traitants

- Charpente métallique : Gagne Constructions métalliques
- Pieux : Sondefor
- Etanchéité : Spapa
- Ferrailage : Pam
- Chaussées : J. Lefebvre
- Joints : Cipec
- Garde-corps : Sogam
- Fournisseur béton : Unibéton

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Montant du marché

4 336 419,02 F TTC soit un coût du mètre carré d'environ 13 000 F TTC, raccordement aux chaussées existantes et endiguement rive droite compris

Délais

7 mois

Le viaduc de Monistrol d'Allier sur la RD 589

Face aux difficultés de traversée de Monistrol d'Allier (Haute-Loire) et en particulier de l'ouvrage de franchissement de l'Allier – à voie unique et inaccessible aux convois exceptionnels – la déviation de la commune était une nécessité. Dans ce cadre, la construction d'un ouvrage non courant a été décidée pour permettre à la RD 589 de franchir le lit majeur de l'Allier ainsi que les emprises d'une usine hydroélectrique EDF située en rive gauche (conduites forcées, passe à poissons). Il s'agit d'un ouvrage de type caisson à trois travées, de 169 m de longueur totale et de 9 m de largeur utile.

Le marché a été attribué à l'issue d'un appel d'offres restreint lancé au début de l'année 1998. Celui-ci comprenait une seule solution de base en structure mixte pour laquelle les entreprises ont soumissionné en groupements conjoints. L'entreprise Muller a été retenue pour le lot n° 1 (génie civil) et désignée mandataire du groupement formé avec les Établissements Richard Ducros titulaire du lot n° 2 (charpente métallique).

■ CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Le viaduc sur l'Allier supportera les deux voies de circulation de la RD 589. C'est un ouvrage mixte d'une longueur de 168 m. Il est rectiligne sur une longueur de 112 m environ puis courbe suivant un rayon circulaire de 90 m sur les 56 m restants. Il compte trois travées dont la répartition est la suivante : 56 m + 70 m + 42 m. La largeur totale du tablier hors corniches est de 10 m répartie comme suit :

- ◆ BNBV : 0,50 m ;
- ◆ trottoir y compris bordure : 1,25 m ;
- ◆ deux voies de circulation : 6,50 m (2 x 3,25 m) ;
- ◆ trottoir y compris bordure : 1,25 m ;
- ◆ BNBV : 0,50 m.

Le profil en long sur ouvrage présente une pente uniforme descendante de 6 % dans le sens Saugues (culée C0) vers Le Puy (culée C3). Le dévers transversal est variable ; il vaut 2,5 % dans la zone rectiligne et 4 % dans la zone courbe.

Le tablier sera équipé de la manière suivante :

- ◆ corniche caniveau côté aval ;
- ◆ dispositifs de protection contre les jets de pierre sur la travée de 56 m uniquement (travée C0-P1) ;
- ◆ barrières BNBV ;
- ◆ trottoirs ;
- ◆ candélabres et corniche côté amont.

Piles

Elles sont au nombre de deux. Leur fût creux a une section de forme annulaire de diamètre 3,60 m dont le parement est constitué par une peau cof-



Habillage final
d'un tronçon
*Final trim
on a section*

frante de 15 cm d'épaisseur. Ces fûts surmontés d'un chevêtre rectangulaire sont encastrés dans les semelles béton par l'intermédiaire d'un raidisseur.

La pile P1 (rive gauche) est fondée directement sur le granit sain. La pile P2 (rive droite) est fondée sur six pieux de diamètre 1,20 m et longueur 10 m environ. La hauteur des piles est respectivement d'environ 28 m pour P1 et 22 m pour P2.

Culées

Elles sont constituées d'un sommier raidi faisant office de semelle. La culée C0 est fondée sur quatre pieux de diamètre 1,20 m. La culée C3 est fondée directement sur le granit sain.

Appareils d'appui

Le tablier repose sur les appuis par l'intermédiaire d'appareils d'appui en élastomère fretté.

**Retournement
d'un tronçon pour réalisation
à plat des soudures**

*Turnover of a section
for flat welding*



**Passage délicat
lors de la livraison sur site
des tronçons courbes**

*Tricky passage
during on-site delivery
of curved sections*



**Accostage
sur pile P2**

*Positioning
on pier P2*



► Charpente métallique

Elle est constituée d'un caisson ouvert de hauteur constante dans l'axe, voisine de 2,35 m et à âmes inclinées raccordées aux semelles supérieures. Celles-ci ont une largeur constante de 800 mm et une épaisseur variable de 30 à 100 mm. La semelle inférieure ou tôle de fond présente une largeur constante de 4,10 m (4 m entraxe des âmes) et une épaisseur variable de 30 à 55 mm. Le caisson est raidi transversalement par des cadres rayonnants disposés tous les 4 m sur piles et 4,40 m maximum en travées. La tôle de fond est raidie lon-

gitudinalement sur toute la longueur de l'ouvrage par trois ou sept raidisseurs en plats continus. Les diaphragmes sur appuis avec trou d'homme sont renforcés pour assurer la transmission des réactions d'appuis et permettre le vérinage du tablier. Le caisson étant ouvert et localement à forte courbure en plan, un contreventement horizontal a été prévu au dessous des semelles supérieures et sur toute la longueur de l'ouvrage. L'assemblage des différents éléments entre eux en ateliers comme sur chantier a été réalisé entièrement par soudage. Toutes les surfaces des éléments métalliques de la charpente sont protégées contre la corrosion y compris les surfaces en contact avec le béton pour lesquelles seul un voile de protection a été appliqué en ateliers afin de se prémunir contre les cou- lures de rouille en phase d'assemblage.

Le dispositif anticorrosion certifié ACQPA a été mis en œuvre conformément au fascicule 56 du CCTG (trois couches pour les parties vues et deux couches pour les parties non vues).

En atelier, après nettoyage, décapage par jet d'abrasif et dépolissage, application du système complet sur parties non vues et des deux premières couches du système sur parties vues et ce avant expédition sur chantier des divers éléments.

Sur le chantier, après assemblage, application de la couche finale sur parties vues avec la couleur sélectionnée par le maître d'ouvrage.

Tablier, chaussée et équipements

Il est constitué d'une dalle en béton armé présentant des encorbellements de 2,60 m de largeur par rapport à l'axe des semelles supérieures. Cette dalle d'une épaisseur de 32 cm dans l'axe du caisson est connectée à l'ossature métallique par des connecteurs en goujons.

Le coffrage de la dalle pour la zone entre semelles est constitué d'un bac perdu en acier. Le hourdis est protégé par une chape d'étanchéité de 3 cm d'épaisseur recouverte d'une couche de roulement en béton bitumineux O/10 de 4 cm d'épaisseur en phase provisoire et 8 cm d'épaisseur en phase définitive.

Les joints de chaussée et de trottoir mis en place après réalisation de la couche de roulement ne font pas partie du présent marché, seules les réservations nécessaires à leurs poses font partie intégrante des travaux à réaliser. Les dispositifs de retenue mis en place sont des barrières de sécurité BNBV.

La travée CO-P1 surplombant des installations EDF est équipée d'un dispositif de protection contre les jets de pierre, fixé sur les longrines d'ancrage de la BNBV.

Les corniches (bandeau et caniveau) sont en béton armé préfabriqué. Côté aval, des avaloirs ménagés tous les 10 m et passant sous le trottoir déversent les eaux en provenance du tablier dans

la corniche caniveau. Des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux qui percolent au travers des joints de chaussée sont prévus sous les corbeaux supportant ces derniers. Sur toute la longueur de l'ouvrage et transversalement à ses extrémités, la dalle du tablier est équipée de larmiers.

L'alimentation électrique de l'éclairage public est prévue tout le long de l'ouvrage dans des réservations situées dans le trottoir amont.

Les candélabres au nombre de six seront disposés sur des platines dont les ancrages sont noyés dans le béton de la longrine support de BNBV.

■ MÉTHODE ET PROCÉDÉS D'EXÉCUTION

Réalisation des appuis

Piles

Les fondations des deux piles de l'ouvrage ont été réalisées de façon différente compte tenu de la nature du sol en place. Pour la pile P1 située à proximité d'un piton rocheux, la réalisation des fondations a nécessité un déroctage du sol au niveau de la semelle avec coulage de béton de substitution, cloutage de la paroi rocheuse et mise en œuvre d'encrochements bétonnés. Pour la pile P2, les fondations sont plus classiques puisqu'il s'agit de pieux encastrés en tête dans une semelle en béton armé. L'exécution des fûts de piles creux en béton armé a alors pu commencer après coulage d'un raidisseur béton armé sur les semelles de fondation. Le coffrage utilisé constitué d'éléments de coques préfabriquées de forme annulaire a été mis en œuvre par grue à tour pour la pile P2 et grue télescopique automotrice de 70 t pour la pile P1. Le chevêtre rectangulaire surmontant le fût des piles était quant à lui réalisé à l'aide d'un coffrage traditionnel.

Le béton utilisé à la benne est un béton de type B35G.

Culées

Comme pour les piles les culées ont des assises de fondation différentes. La culée C0 est fondée sur pieux comme la pile P2 ; par contre l'inclinaison de la paroi rocheuse a nécessité un cloutage de celle-ci et la mise en œuvre d'encrochements. Pour la culée C3 fondée directement sur le granit sain un dérochage suivi d'un coulage de béton de substitution ont été nécessaires.

Méthode et procédés d'exécution de la charpente métallique

Description de la gamme de fabrication

La fabrication de la charpente métallique a été réalisée suivant 3 phases principales détaillées ci-après :

- ◆ phase 1 : débit + oxycoupage des différents élé-



Détail des chaises de lancement sur culée C0

Detail of launching brackets on abutment C0



Détail corbeau pour clavage des parties droite et courbe du caisson

Detail of bolster for keying of straight and curved parts of the box structure

ments qui constituent l'ossature métallique ;

- ◆ phase 2 : reconstitution + habillage + finitions. Les rabotages aux changements de sections des âmes, des semelles supérieures et de la tôle de fond sont réalisés à plat sur des bancs ; les connecteurs de type goujons sont ensuite soudés sur les semelles supérieures du caisson et des cadres sur appuis. La mise en volume du caisson est enfin réalisée conformément au phasage suivant :
 - reconstitution des cadres courants et d'appuis (âme + semelle supérieure),
 - assemblage et soudage des raidisseurs longitudinaux sur tôle de fond et âmes du caisson,
 - reconstitution de sous-ensembles constitués des âmes et semelles supérieures du caisson,
 - assemblage et soudage des cadres courants et d'appuis sur tôle de fond du caisson,
 - assemblage et soudage des sous-ensembles décrits ci-dessus sur tôle de fond du caisson en contact avec les cadres courants et d'appuis,
 - mise en place du contreventement horizontal provisoires,
 - reconstitution des consoles sur culées,
 - assemblage et soudage des divers éléments secondaires sur le caisson ;
- ◆ phase 3 : montage à blanc.

En fonction de l'avancement de fabrication et avant leur mise en peinture, deux ou trois tronçons consécutifs sont présentés bout à bout dans leur posi-

**Vue de l'ouvrage
après lancement
de la partie courbe**

**View of structure
after launching
the curved part**



tion définitive suivant la contreflèche de fabrication, la courbure en plan et le dévers transversal avant de recevoir un dispositif de clamage qui permettra de retrouver au chantier les positions relatives des différents caissons.

A ce stade des fabrications, un contrôle final avec vérification de la géométrie du tablier est assuré par le service contrôle externe de l'entreprise qui aura préalablement et pendant toutes les phases de fabrication vérifié la conformité des tolérances dimensionnelles et des soudures.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'œuvre

Directeur du Patrimoine et des Communications

Maître d'ouvrage

Département de la Haute-Loire

Exécution des travaux

- Muller Frères : génie civil
- Ets. J. Richard-Ducros : ossature métallique

Entreprises sous-traitantes

- SMC pour le montage
- Prezioso pour la protection

Bureaux de contrôle

- CETE de l'Isle d'Abeau
- CETE laboratoires de Bron et Aix-en-Provence
- Contrôle 45

Phases de construction de l'ossature métallique sur site

Compte tenu du site et de la géométrie en plan de l'ouvrage (partie rectiligne de 112 m puis partie courbe de 56 m suivant un rayon de 90 m) la seule solution de mise en place réaliste consistait à un lancement depuis chacune des plates-formes situées en arrière des culées avec clavage du caisson en position.

La longueur disponible des plates-formes a permis de réaliser l'assemblage de la totalité des éléments. La longueur de ces derniers étant tributaire des conditions d'accès et de la forme du caisson, l'entreprise a donc livré par convois routiers exceptionnels quatre éléments courbes côté culée C3 et six rectilignes côté culée C0 et ce à partir de son usine de fabrication d'Alès (Gard).

La longueur des tronçons courbes varie de 9 à 20 m pour un poids allant de 30 à 60 t. Pour les éléments rectilignes, cette longueur est comprise entre 15

et 24 m, pour un poids variant de 42 à 66 t. Sur le chantier ces éléments ont été déposés sur les calages d'assemblage disposés sur les plates-formes afin de retrouver la géométrie obtenue lors de la présentation à blanc en usine.

Lancement

Après assemblage des tronçons et mise en place du contreventement horizontal, les opérations de lancement ont été conduites en commençant par la zone courbe (tonnage à lancer 187 t) pour finir par la zone rectiligne (323 t + lest de 28 t).

Côté courbe

On utilise un treuil électrique lesté et ancré, de capacité 7 t enroulant un câble mouflé à six brins. La force développée est ainsi de 42 t destinée à vaincre :

- ◆ le frottement par roulement sur les chaises de lancement ;
- ◆ le frottement des câbles ;
- ◆ la pente générale longitudinale de l'ouvrage ;
- ◆ la pente locale au droit de chaque ligne de chaise qui peut être suivant la forme de la contreflèche successivement ascendante puis descendante.

La vitesse d'avancement de l'ouvrage est d'environ un mètre à la minute.

Compte tenu de la courbure en plan de l'ouvrage, ce treuil a été disposé sur la plate-forme à côté du caisson. Un treuil électrique de retenue de capacité 7 t avec un câble mouflé à quatre brins est également utilisé pour revenir en arrière si nécessaire. Ce treuil disposé à l'arrière de la plate-forme peut éventuellement également servir pour maintenir l'ouvrage ce qui n'a pas été le cas ici puisque cette partie a été lancée en montant.

Pour avancer, l'ouvrage roule sur des chaises à galets elles-mêmes appuyées sur des calages ancrés sur chacun des appuis définitifs (pile P2 et culée C3) et provisoires (palée située à mi-portée entre C3 et P2), plus deux lignes d'appui sur plate-forme.

Les chaises comportent trois galets d'une capacité totale de 150 t pour une réaction maximale appliquée de 126 t environ. A noter que les réactions pour une même ligne d'appui sont très différentes d'une chaise à l'autre compte tenu de la forte courbure. Ces dernières sont également équipées de galets de guidage horizontaux, prenant appui sur les chants extérieurs de la tôle de fond.

A la suite d'études comparatives sur la stabilité de l'ouvrage en phase de lancement, l'entreprise a opté pour la mise en œuvre d'une palée provisoire haubanée transversalement et butonnée contre la culée C3 à mi-portée de la travée C3-P2.

Cette solution permettait de s'affranchir :

- ◆ d'un avant-bec (dont l'utilisation s'avérait plus délicate dans le cas d'un ouvrage courbe) ;
- ◆ de la mise en œuvre d'un lest à l'arrière de l'ouvrage et d'un fléau antitorsion, inévitable compte tenu de la portée de la travée de 42 m.

Côté rectiligne

Le principe décrit pour le côté courbe est ici reconduit. Toutefois l'ouvrage étant lancé en descendant avec une pente avoisinant les 9 %, il doit être retenu en permanence, un faible effort étant nécessaire pour le faire avancer. Le nombre de brins de treuils de traction a été allégé et la retenue a par contre été renforcée avec un treuil de capacité 10 t et un câble mouflé à dix brins. En sécurité un deuxième treuil de retenue identique au précédent est mis en œuvre.

Aucune palée provisoire ni avant-bec n'ont été nécessaires. Par contre un lest de 28 t formé de blocs béton a été disposé à l'arrière du caisson pour permettre le franchissement de la travée de 56 m.

Tablier

La dalle de couverture constituant le tablier a été réalisée par pianotage au rythme de deux plots par semaine de longueur variant de 6 à 10 m. Si pour l'exécution du hourdis, un outil coffrant a été utilisé pour les parties en encorbellement la zone entre semelles du caisson a été coulée sur un bac perdu en acier prenant appui sur la partie inférieure du caisson.

Pour la partie rectiligne, le ferrailage de la partie centrale du hourdis a été préfabriqué par plots sur plate-forme côté culée C0 et mis en place sur l'ouvrage par lançage ; pour la partie courbe ce ferrailage a été mis en œuvre en position.

Le béton (B35G) a été alimenté à la pompe pour l'ensemble du tablier. Pour réduire les contraintes de traction dans le hourdis au niveau des piles une surélévation sur culées est prévue après bétonnage de la totalité du hourdis.

Cette surélévation de 58 cm sur culées C0 et 34 cm sur culée C3 sera identique sur chaque appareil d'une même ligne d'appui compte tenu de la raideur du caisson mixte vis-à-vis de la torsion.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Appuis

- Béton pour pieux : 100 m³
- Béton pour piles : 460 m³
- Béton pour culées : 260 m³
- Aciers pour béton armé : 76 t

Charpente métallique

510 t (aciers S355K2G3, S355N, S355NL et ST37-3K)

Tablier

- Béton : 540 m³
- Aciers pour béton armé : 138 t

ABSTRACT

The Monistrol d'Allier viaduct on highway RD 589

Fr. Charmasson

Owing to the difficulties encountered in crossing Monistrol d'Allier (Haute-Loire region) and in particular the bridge over the Allier – single-lane and not accessible to wide loads – the by-passing of the town was required. Accordingly, the construction of an exceptional structure was decided upon to enable the RD 589 to cross the flood plain of the Allier as well as the areas of an EDF hydroelectric power plant located on the left bank (penstocks, fish pass). The structure is of the box-girder type with three span sections, a total length of 169 m and a useful width of 9 m.

The contract was awarded after a short-list call for tenders sent out early in 1998. The contract called for a single basic solution with a mixed structure, for which the contractors submitted proposals in joint groups. The firm Muller was selected for lot 1 (civil engineering) and designated as the principal for the group formed with Établissements Richard Ducros selected for lot 2 (structural steelwork).

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto de Monistrol d'Allier, en la carretera departamental 589

Fr. Charmasson

Habida cuenta de las dificultades para atravesar la localidad de Monistrol d'Allier (Haute Loire) y, fundamentalmente el puente de franqueo del río Allier - de un canal único e inaccesible a los camiones que transportan cargas excepcionales - se presentaba la necesidad urgente de una variante en este municipio. En este contexto, se tomó la decisión de proceder a la construcción de una estructura no habitual para permitir a la carretera departamental 589 salvar el cauce principal del río Allier, así como los terrenos pertenecientes a una central hidroeléctrica de Electricité de France, ubicada en la margen izquierda (tuberías forzadas, escalas de paso para peces). Se trata de una estructura de tipo cajón, de tres tramos, de 169 m de longitud total y de 9 m de anchura útil. La contrata ha

sido atribuida previa licitación limitada a principios del año 1998. El proyecto licitado correspondía a una solución básica única en forma de estructura mixta, para la cual las empresas licitantes se han presentado en forma de agrupaciones conjuntas. El lote n° 1 ha sido atribuido a la empresa Muller (obras de ingeniería civil), que ha encabezado al grupo formado conjuntamente con los Établissements Richard Ducros, titular del lote n° 2 (armadura metálica).

Le pont de Rivas sur

Le nouveau pont de Rivas remplace un ouvrage centenaire qui ne répondait plus aux exigences de sécurité et de circulation souhaitées par le Conseil général de la Loire.

Cette opération a permis de concilier esthétique (conception en caisson mixte), fonctionnalité (deux voies pour véhicules et deux larges trottoirs) et coût modéré (réutilisation des appuis existants).

Les travaux comprenaient la démolition de l'ouvrage existant, les aménagements des plates-formes et des appuis, la réalisation du nouvel ouvrage et les voiries d'accès.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le pont sur la Loire dit de Rivas permettait à la route départementale 101 de traverser la Loire depuis le village de Rivas en rive droite jusqu'à Craitilleux en rive gauche.

La structure de l'ouvrage à trois travées en poutres métalliques treillis de type pont cage n'était pas sans poser de problèmes au Conseil général, maître d'ouvrage et exploitant du réseau routier départemental :

◆ la largeur de la chaussée était de 2,60 m, bordée de deux trottoirs n'excédant pas 50 cm de lar-

n'était pas le cas jusqu'alors. Dans un souci d'économie, mais aussi d'esthétique (conserver l'esprit de la construction en maçonnerie), les appuis en rivière et les deux culées existantes ont été conservées et aménagées pour recevoir le nouveau tablier de l'ouvrage : ce dernier en structure mixte est constitué d'un caisson métallique supportant une dalle supérieure en béton armé.

La récupération des appuis existants avec des portées très raisonnables, inférieures à 60 m, n'a pas entraîné de variation de hauteur des âmes du caisson. La forme trapézoïdale est donc constante et le grand rayon de son profil en long lui confère une cambrure élégante et sobre.

La forme demi-circulaire des extrémités des piles existantes est simple et efficace : elle est particulièrement bien étudiée pour laisser passer l'eau et les divers matériaux qu'elle peut charrier. L'intervention sur les piles a été minime et a permis de conserver le parement en pierre de taille.

La cote finale de la chaussée est légèrement supérieure à l'ancienne cote (65 à 70 cm aux extrémités de l'ouvrage) afin de respecter les contraintes hydrauliques liées à l'écoulement des crues sous l'ouvrage : cette différence a été rattrapée sur les pentes des rampes d'accès – dont le tracé n'a pas été modifié – de part et d'autre du pont. Côté Rivas, le carrefour de la RD 101 avec la VC 3 a été aménagé avec une voie centrale pour tourner à gauche.

Le cheminement de la RD vers les berges du fleuve a aussi été pris en compte puisqu'un escalier contre les murs en retour de la culée permet aux pêcheurs et aux promeneurs de découvrir le fleuve au pied de l'ouvrage.

Les travaux de réalisation ont été confiés au groupement S.F.E.T. - J. Richard Ducros - Gerland pour un montant de 15 600 000 F TTC.

Une contrainte supplémentaire imposée aux entreprises consistait en un délai de réalisation réduit. En effet, les travaux ont débuté en décembre 1998 et on assistait à une ouverture partielle par alternat de l'ouvrage neuf mois plus tard et l'inauguration officielle le mois suivant.

■ CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Le nouveau pont de Rivas est un ouvrage mixte constitué d'un caisson métallique surmonté d'une dalle en béton armé. La longueur totale entre les axes des deux culées est de 158 m répartis en

Démolition de l'ancien ouvrage
Demolition of old bridge



© Conseil général de la Loire. DVD

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Conseil général de la Loire

Maître d'œuvre

Direction de la Voirie départementale

Architecte

Cabinet Berlottier

Réalisation des travaux

- Ets J. Richard-Ducros : charpente métallique
- SMC : sous-traitant montage
- Prezioso : peinture
- Société Forézienne d'Entreprise et de Terrassement (S.F.E.T.) : terrassement, appuis, béton et enrochement
- Gerland : enrobé et structure de chaussée

ge : le croisement de deux véhicules légers, voire le passage d'un piéton alors qu'un poids lourd était sur la chaussée était impossible sur les 158 m de longueur du pont. Le gabarit était également limité à 4 m en hauteur. Toutes ces contraintes rendaient même le passage impossible à certains véhicules à gabarits exceptionnels, notamment certains engins agricoles ;

◆ l'ouvrage représentait donc un verrou sur l'itinéraire de la RD 101 dont la largeur moyenne de chaussée est de 6 m alors que l'on enregistre un trafic de 1 470 véhicules par jour (dont 11 % de poids lourds) à hauteur du pont sur la Loire ;

◆ la conservation de l'ouvrage aurait nécessité des travaux d'entretien (peinture) longs et coûteux qui n'auraient apporté aucune réponse aux problèmes recensés de sécurité, mais aussi de protection de l'environnement (les eaux de chaussées sont directement rejetées dans la Loire par des perforations du tablier).

Le Conseil général a donc profité de cette réhabilitation pour élargir la chaussée à 6,50 m et créer deux trottoirs de 1,50 m afin que piétons et pêcheurs puissent circuler en toute sécurité, ce qui

la Loire

trois travées de 49, 60 et 49 m environ. L'ouvrage est rectiligne et ne comporte pas de biais. La largeur totale du tablier hors corniche est de 10,8 m répartis comme suit :

- ◆ une chaussée bidirectionnelle de 6,5 m ;
- ◆ deux bordures GS2 de 0,38 m ;
- ◆ deux trottoirs de 1,5 m.

Des corniches en aluminium et des garde-corps architecturaux prolongent l'ouvrage sur ses encorbellements.

Les appuis

Sur piles, les massifs de fondation ont fait l'objet de travaux de renforcement en 1982 et 1983 qui assurent la stabilité des piles existantes et leur réutilisation pour le nouvel ouvrage.

Quant aux culées, une auscultation des massifs et du sol d'assise a été commandée en 1993 et a montré que les deux culées étaient saines et reposaient sur des formations très compactes. Toutefois, le rapport a démontré la nécessité d'une protection contre l'affouillement sur la rive droite. Les aménagements à apporter aux appuis ont donc été minimes. Les piles ont été intégralement conservées et les culées n'ont subi qu'une démolition partielle en tête complétée par la réalisation de murs en retour.

La charpente métallique

La charpente métallique se compose d'un caisson de forme trapézoïdale à hauteur constante. L'écartement des axes est de 3,8 m en partie inférieure et de 5,4 m en partie supérieure.

Les semelles supérieures sont de largeur constante (800 mm) pour une épaisseur variant de 25 à 120 mm. La tôle de fond d'une largeur de 4 m a vu son épaisseur varier entre 20 et 30 mm. Elle est raidie par trois files d'augets sur toute la longueur de l'ouvrage.

L'espacement entre cadres courants est de 6,4 m. Sur appuis, les cadres sont constitués de diaphragmes percés par un trou d'homme.

L'ensemble de la charpente est protégé contre la corrosion, y compris les zones en contact avec le béton qui ont reçu une couche unique de peinture pour éviter toute coulure de rouille.

Les surfaces non visibles ont été traitées par application d'un système agréé ACQPA à deux couches. Les surfaces visibles (extérieur du caisson) sont recouvertes par un système de trois couches en caoutchouc chloré couleur jaune sécurité.



Levage des premiers tronçons de caisson
Lifting the first box-girder sections

Hors joints de chantier, les caissons partent de l'atelier en ayant déjà reçu les deux premières couches du système de protection anticorrosion, la couche d'habillage des parties vues étant appliquée sur site avant le lancement de l'ossature.

Tablier et équipements

La dalle de béton armé qui surmonte le caisson présente des encorbellements de 2,33 m par rapport au nu extérieur de la semelle supérieure. Son épaisseur varie de 22 cm en extrémité à 34 cm à la jonction acier-béton.

Le complexe d'étanchéité de 30 mm d'épaisseur est un complexe épais adhérent au support béton. La couche de roulement en béton bitumineux 0/10 qui le surmonte a une épaisseur de 6 cm. Les joints de chaussée sont de type Cipec WD 80.

Une conduite d'eau potable sera disposée dans une des deux corniches métalliques afin de rétablir l'alimentation de la commune de Craitilleux.

■ MÉTHODES ET PROCÉDÉS D'EXÉCUTION

Démolition de l'ancien ouvrage

La dalle béton a été préalablement détruite en place et évacuée sous forme de gravats. Puis la structure métallique a été découpée en trois zones et descendue tronçon après tronçon grâce à des grues disposées en pied d'ouvrage. Les tronçons ont ensuite été complètement désossés et recyclés. Seules les plaques constructeur ont été récupérées.



Chaises de lancement sur piles
Pier launching brackets

Intérieur
du caisson
Inside
of box girder



© Conseil général de la Loire, DVD



© Conseil général de la Loire, DVD

Chaises de lancement
sur plate-forme

Launching brackets
on bed

La réalisation des appuis

Compte tenu de la réutilisation des appuis, les travaux sur les maçonneries ont été peu conséquents puisqu'ils se sont limités à la seule réalisation des chevêtres et des bossages.

Les chevêtres sont des sommiers béton d'une hauteur de 0,55 m sur piles et de 1,1 m sur culée qui coiffent les appuis afin de diffuser au mieux les charges apportées par le tablier.

Les bossages, destinés à recevoir les appareils d'appui, ont été également réalisés avant le lancement de l'ossature, de même qu'un mur de front avec murs en retour entourant la culée existante et permettant de retenir la plate-forme à l'arrière des culées sur une largeur de 13 m.

La charpente métallique

En usine

La méthodologie de fabrication du caisson est globalement similaire à celle utilisée pour le pont de Monistrol présenté par ailleurs dans ce numéro de Travaux.

Sur le pont de Rivas, la largeur de la tôle de fond de caisson reste compatible avec les gammes de fabrication des sidérurgistes français, ce qui a permis d'éviter une soudure longitudinale fort coûteuse et préjudiciable en terme de tenue à la fatigue.

En outre, ces tôles ont été commandées à bords francs avec les tolérances de largeur associées aux ouvrages d'art pour éviter une commande en surlargeur et un oxycoupage supplémentaire.

En ce qui concerne les tôles de forte épaisseur (60 mm) sur piles, leur réalisation s'avère impossible en coulée continue ; ces tôles ont donc été coulées en lingots impliquant des coûts et des délais d'approvisionnement plus importants.

Contrairement au projet initial, l'entreprise a proposé de faire régner la semelle inférieure par le dessus afin de rationaliser la fabrication des cadres courants : ils ont tous la même forme minimisant ainsi le "chutage" de matière lors de la mise en tôle.

L'ouvrage étant rectiligne, les études comparatives qui ont été menées par les établissements J. Richard Ducros ont confirmé le choix des concepteurs

du projet avec trois files d'augets d'épaisseur constante. Les augets sont "traversants" pour les cadres courants ; au niveau des cadres d'appui, ils viennent s'enfourcher sur des raidisseurs d'appui et sont soudés sur les diaphragmes.

Pour le tronçonnement de l'ouvrage, l'entreprise a choisi de limiter au maximum le nombre de tronçons soit 8 au total. Les zones en travées ont une longueur maximale de 24 m pour un poids de 57 t. Les tronçons sur piles ont des dimensions plus modestes (12 m) pour un poids de 48 t.

Les caissons transportés par des convois routiers exceptionnels devant traverser plusieurs agglomérations, l'entreprise a proposé de réduire l'écartement entre âmes des membrures supérieures pour ramener de 6,2 m à 5,8 m la largeur hors tout des caissons et faciliter ainsi leur acheminement. Le maître d'œuvre a préféré en rester au projet initial en acceptant toutefois d'excentrer les semelles supérieures de 100 mm vers l'intérieur vis-à-vis des âmes. La largeur des tronçons à expédier depuis les ateliers de Charmes (Vosges) s'est trouvée ramenée à 6 m.

Sur site

Du fait de la configuration du terrain, une plate-forme de 80 m en arrière de la culée C3 a pu être réalisée sans travaux de terrassement majeur.

En outre, les risques réels de crues de la Loire rendaient problématique la réalisation des palées provisoires en rivière.

La méthodologie de mise en place par lancement s'est donc très vite révélée la seule envisageable.

Compte tenu de la faible longueur de la plate-forme, le lancement a été effectué en quatre phases :

- ◆ assemblage des trois premiers tronçons représentant une longueur de 56 m suivi d'un lancement sur 33 m. L'ouvrage est alors laissé en porte-à-faux sur 28 m par rapport à la pile P2 ;

- ◆ assemblage de deux tronçons supplémentaires (27 m) et lancement sur 56 m. L'ouvrage est laissé avec un porte-à-faux de 34 m par rapport à la pile P1 ;

- ◆ assemblage des trois derniers tronçons et lancement jusqu'à la culée C0 ;

- ◆ descente sur appuis et réglages.

Le choix de l'entreprise s'est porté sur un lancement sans avant-bec, la répartition matière de l'ouvrage le permettant.

Le pont a dû être lancé suffisamment haut pour permettre l'accostage sur l'appui suivant. Les hauteurs de calages nécessaires sur piles étaient de plus de 3,3 m :

- ◆ 0,8 m était dû à la flèche propre de l'ouvrage ;

- ◆ 1,1 m au profil en long parabolique ;

- ◆ 0,7 m à la contreflèche résiduelle (essentiellement la dénivellation) ;

- ◆ 0,4 m à la présence des bossages d'appui avant lancement.

Ces calages ont été ancrés sur les deux appuis et

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Charpente métallique : 405 t
- Tablier : béton 529 m³
- Aciers pour béton armé : 113 t

contreventés entre eux afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage lors des phases critiques de lancement. La mise en place de l'ossature a nécessité l'utilisation d'un treuil de traction électrique et d'un treuil de retenue disposés à l'arrière de la plate-forme. Une queue de traction a été utilisée pour le dernier lancement, une fois l'intégralité de l'ouvrage assemblé. Pour les phases intermédiaires, ce système a été remplacé par une barre venant se fixer à l'intérieur de l'auget central et munie de deux oreilles à son autre extrémité : une pour amarrer le mouflage de traction, l'autre pour le mouflage de retenue.

Sur appuis et sur la plate-forme, l'ouvrage roule sur des chaises comportant jusqu'à six galets sur la pile P2. Les galets peuvent reprendre chacun jusqu'à 50 t. L'utilisation de ces chaises n'est pas liée à la charge admissible par galet mais au risque de poinçonnement de l'âme.

Lors des opérations de lancement et de bétonnage, un contreventement tubulaire en N est nécessaire afin de raidir transversalement le caisson. Ce contreventement a subi la même protection anticorrosion que l'intérieur du caisson et a été laissé en place après achèvement des travaux.

Au terme du lancement et d'une opération de descente sur appuis, longue et délicate compte tenu des hauteurs de calage, l'ouvrage est réglé sur des appuis provisoires préalablement aux opérations de réalisation du hourdis.

Après confection de ce dernier et séchage d'une semaine, une dénivellation de 70 cm sur piles permet de recomprimer la dalle et de redistribuer les efforts.

Le tablier

Le hourdis du tablier a été réalisé par plots successifs de 9,85 m de long suivant la méthode dite en "pas de pèlerin". Ce procédé amène sensiblement les mêmes contraintes de traction dans la dalle qu'un planotage classique (bétonnage des plots en travée puis ceux sur piles) mais minimise les mouvements de l'outil coffrant.

Afin de gagner un temps précieux, le bétonnier a mis à profit la période de descente sur appuis provisoires du caisson métallique pour mettre en œuvre aussi bien le coffrage perdu en bacs acier galvanisés à l'intérieur du caisson que l'outil coffrant destiné à la réalisation du hourdis en encorbellement. Le ferrailage du hourdis a été préfabriqué sur la plate-forme en arrière de la culée C0 puis tiré sur le tablier.

L'ensemble de ces opérations furent ainsi réalisées en sept semaines.

Les six dernières semaines ont été consacrées à la dénivellation d'appuis et à la pose des équipements : appareils d'appui, revêtement, corniches, garde-corps, etc.



© Conseil général de la Loire. DVD

L'ouvrage
terminé

The completed
structure

ABSTRACT

The Rivas bridge over the Loire

S. Arguimbau

The new Rivas Bridge replaces a hundred-year-old structure no longer meeting the safety and traffic requirements set by the Loire regional council.

This project reconciles aesthetic requirements (composite girder design) and functionality (two lanes for vehicles and two wide footpaths) at a moderate cost (re-use of existing supports).

The works included the demolition of the existing structure, the construction of beds, supports, the new bridge and access roadways.

RESUMEN ESPAÑOL

El puente de Rivas, sobre el río Loira

S. Arguimbau

El nuevo puente de Rivas ha sustituido a una estructura centenaria existente, incapaz de responder a los requerimientos de seguridad y de tráfico rodado deseados por la Diputación Provincial del departamento del Loira.

Esta operación ha permitido conciliar la estética (diseño en forma de cajón mixto), la funcionalidad (dos carriles para vehículos y dos andenes de gran anchura) y un coste moderado (reutilización de los apoyos existentes).

Las obras incluían el derribo de la estructura existente, los acondicionamientos de las plataformas y de los apoyos, la ejecución del nuevo puente y de las vías de acceso.

Le viaduc de Digoïn

Un viaduc en encorbellement variable coulés en place tous

Le viaduc de Digoïn est un pont classique de par sa conception. Avec ses deux tabliers de 486 m, il sera l'ouvrage principal de la Route Centre Europe Atlantique. Il comprend trois travées de 118 m et deux travées de rive de 66 m les quatre piles ont entre 11 et 17 m de hauteur et sont construites en zone inondable. Les méthodes d'exécution adoptées et les matériels utilisés, déjà éprouvés, ont été optimisées afin de tenir le cycle d'une paire de voussoirs tous les deux jours pour chacun des deux équipages mobiles.

■ LE PROJET

Généralités

Le viaduc de Digoïn est l'ouvrage majeur de la Route Centre Europe Atlantique (RCEA). L'aménagement de cet itinéraire reliant la façade atlantique de la France au centre de l'Europe (Suisse, Allemagne du sud) est un projet national datant d'une trentaine d'années. Les premiers travaux ont commencé au début des années soixante-dix. Ils s'inscrivent maintenant dans un cadre continental puisqu'il s'agit de la partie française de la liaison trans-sud-européenne faisant partie du schéma directeur européen.

Le viaduc fait plus particulièrement partie du tronçon permettant de contourner la ville de Digoïn, point de passage obligé de tout le trafic est-ouest. Ce tronçon sera aménagé en 2 x 2 voies.

Définition du projet

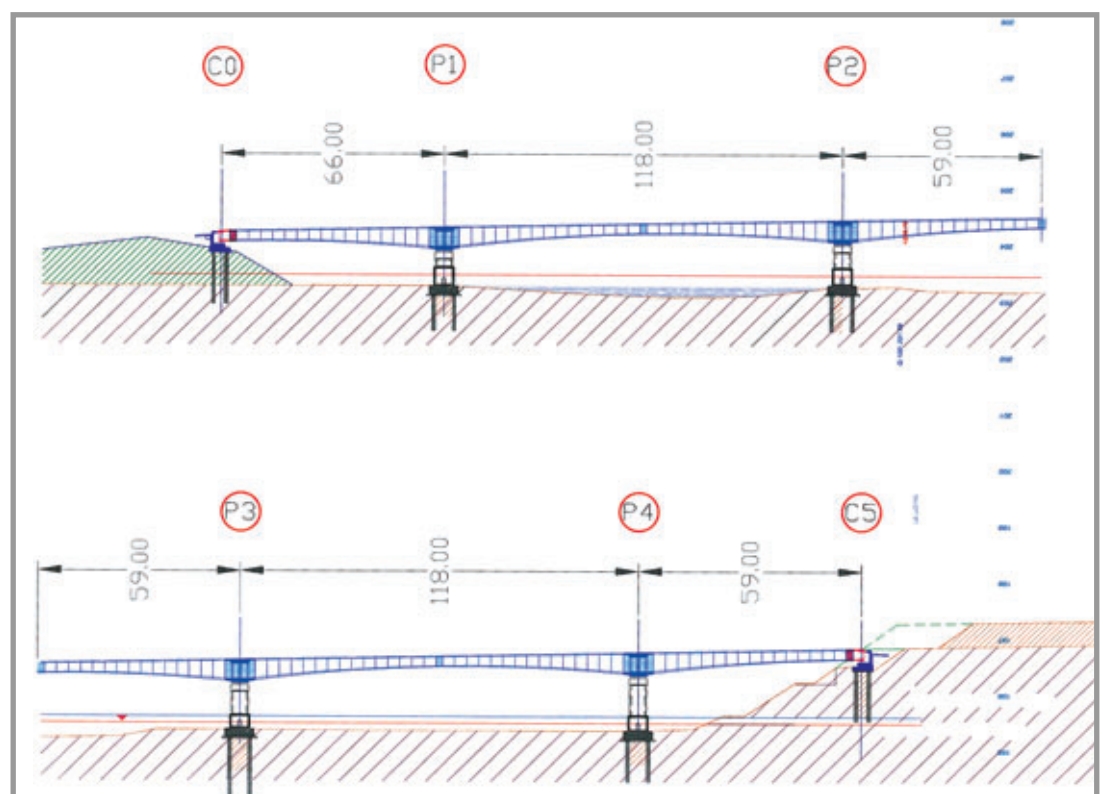
Le viaduc de Digoïn est un ouvrage hydraulique (OH 6 dans sa dénomination officielle) permettant à la RCEA de traverser la Loire.

Dans cette zone, le fleuve (fleuve sauvage), sort plusieurs fois de son lit chaque année. Si le lit mineur ne fait qu'à peine une centaine de mètres, les flots s'étalent lors des inondations courantes (presque tous les ans) sur plus d'un kilomètre.

Un premier projet, rapidement abandonné pour son coût prohibitif, prévoyait un ouvrage sur toute la largeur du lit majeur. Une étude hydraulique a montré, par modélisation des écoulements, qu'un ouvrage de 500 m complété par un remblai coupé par deux ouvrages de décharge d'une centaine de mètres ne provoquerait lors d'une crue centennale qu'une faible élévation du niveau des eaux par rapport à la situation actuelle.

Dans le cadre de cette nouvelle définition de l'ensemble du projet, il a été retenu un viaduc de 486 m. Alors que beaucoup d'ouvrages sont actuellement construits en un seul tablier, celui-ci a été conçu avec deux tabliers de 11 m de large pour faciliter l'entretien et de manière à pouvoir lancer l'ouvrage en deux voies seulement en cas de restrictions budgétaires. L'ouvrage franchit la rivière dans une de ses boucles en encadrant le lit mineur par deux piles (figure 1). Une culée est située sur la costière côté Saône-et-Loire, l'autre sur un remblai côté Allier.

Figure 1
Coupe générale longitudinale de l'ouvrage
General longitudinal section of the structure





par voussoirs à inertie les deux jours

L'ouvrage

Le viaduc est constitué de trois travées de 118 m et deux travées de rive de 66 m. Les deux tabliers ont une largeur de 11 m.

Les piles ne sont pas en rivière, mais sont cependant conçues comme telles compte tenu du caractère inondable de la vallée. Pour respecter les écoulements des eaux, les fûts de piles sont construits à partir d'un socle commun aux deux tabliers (photo 1) de forme favorable à l'écoulement des eaux.

Les culées des deux tabliers sont indépendantes l'une de l'autre.

Les fondations

L'ensemble de l'ouvrage (excepté la culée est, C5) est fondé dans la plaine alluviale de la Loire. Sous une couche de limons d'environ 30 cm d'épaisseur, on rencontre successivement deux formations géologiques :

- ◆ les alluvions de la Loire constituées de sables et galets à prédominance sableuses ;
- ◆ le substratum sédimentaire du miocène inférieur. Ce niveau est constitué essentiellement d'argiles avec des niveaux sableux plus ou moins grésifiés alternant avec des niveaux calcaires.

Les piles

Les piles sont fondées sur 12 barrettes de 2400 x 1200 ancrées dans les niveaux portants du miocène inférieur. Leur longueur varie de 13 à 18 m suivant les piles et en fonction des terrains rencontrés.

Culées ouest, nord et sud

Ces culées sont réalisées sur un remblai de 11 m d'épaisseur après stabilisation de la plate-forme d'origine. Par sécurité, chacune est fondée sur cinq pieux de diamètre 1200 et de 21 m de long de manière à atteindre les terrains du miocène inférieur.

Culées est, nord et sud

Le miocène inférieur est affleurant dans cette zone, les culées sont fondées sur des pieux de diamètre 1200 et de 13 m de long.

Les piles

Les piles de hauteur variable (10,25 à 16,40 m sur semelle) sont constituées de :

- ◆ une semelle 22,40 x 8,50 x 2,00 m ;

- ◆ un socle de 4,40 à 6,00 m de haut, 6 m de large et 20,18 m de long ;
- ◆ un fût de 2,03 à 9,00 m de haut et de 5,00 x 7,00 m ;
- ◆ un chevêtre de 2,20 m d'épaisseur de 5,20 x 7,00 m.

Les tabliers

D'une longueur de 486 m les deux tabliers sont inclinés avec une pente transversale de 2,5 % en opposition l'une de l'autre et une pente longitudinale de 1,94 %. Chacun est constitué de quatre fléaux, de deux voussoirs sur culée et de cinq clavages (figure 1). La hauteur est de 7,00 m sur pile pour ne faire plus que 3,20 m à la clef.

Chaque tablier sera habillé sur l'encorbellement extérieur de corniches en béton lavé de couleur rouge. Ce fin liseré, rehaussé par le linéaire des barrières Tetra S16 amplifiera l'aspect élancé du tablier en opposition au caractère plus massif et stable des piles.

L'étanchéité de l'ouvrage sera assurée par un complexe constitué d'une couche préfabriquée protégée par un asphalte. Les eaux de ruissellement seront recueillies par un collecteur en fonte de diamètre 400 situé sous l'encorbellement extérieur de chaque tablier.

La sécurité en partie centrale sera assurée par des barrières GS2 et par un caillebotis entre les deux tabliers.

Le béton

Cet ouvrage est réalisé en béton de roche massive. Cette contrainte qui va dans le sens de la

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports

Maîtrise d'œuvre

DDE de l'Allier

Architecte

Alain Spielmann

Contrôle

CETE de Lyon, LRPC Clermont-Ferrand

Entreprise

Fougerolle Ballot

Sous-traitants principaux

- Bureau d'études : Europe Etudes Gecti
- Armatures passives : Sendin Armatures
- Précontrainte : Freyssinet
- Terrassements : Bouhet SA
- Béton : BGC
- Fondations profondes : Sade
- Equipages mobiles : Ersem
- Coffrages métalliques : Comefra
- Coffrages bois : Ricard coffrages



Photo 1
Bloc de béton recépé avec réservoir servant de chambre d'expansion du mortier expansif
Cut off concrete block with reservoir serving as a mortar expansion chamber

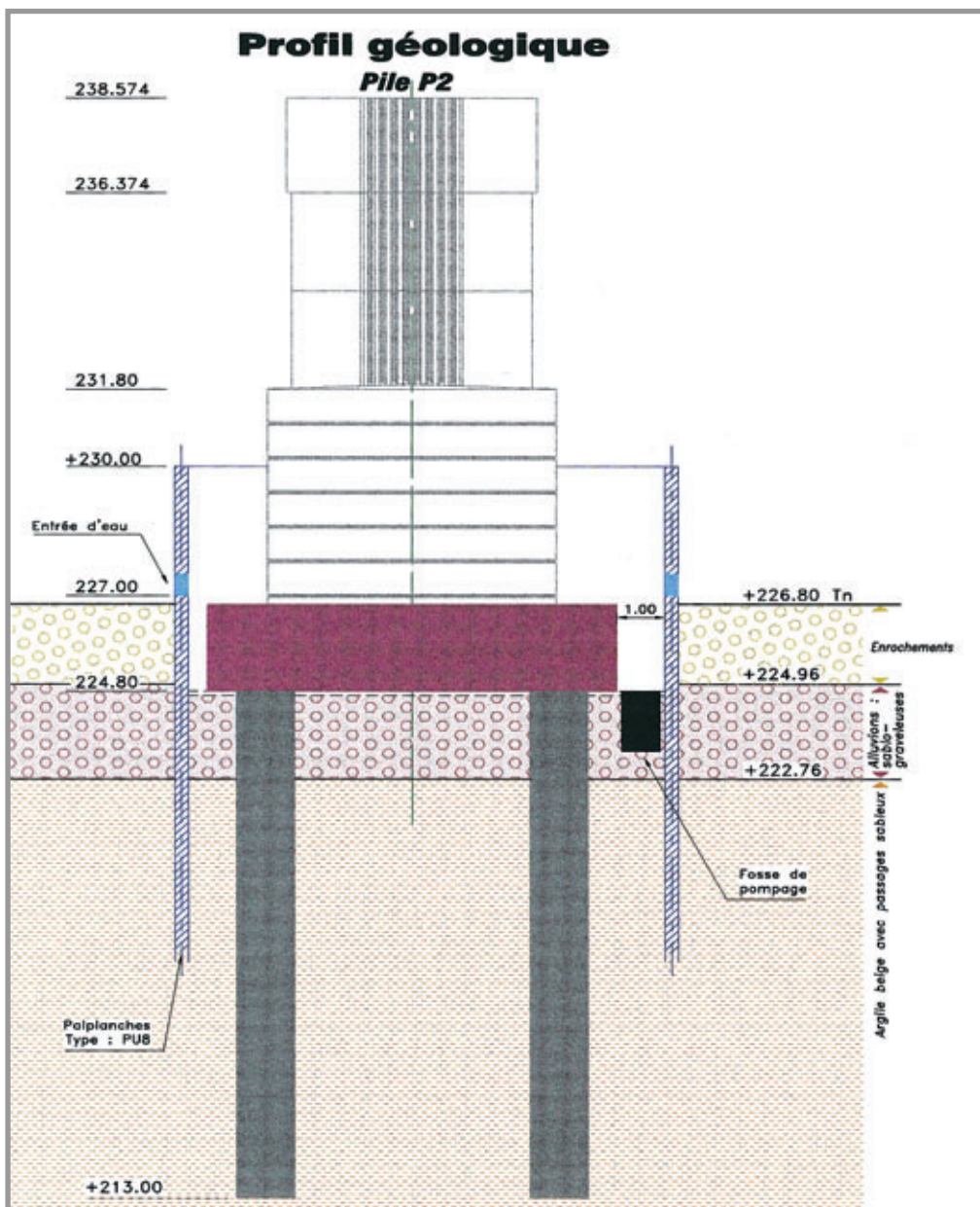


Figure 2
Principe de réalisation
des batardeaux

Cofferdam
design principle



protection des lits de rivières, et en particulier de celui de la Loire, est une première dans cette région de matériaux alluvionnaires.

■ LA CONSTRUCTION

Le délai contractuel était de 24 mois pour les travaux, dont trois semaines d'intempéries prévisibles après deux mois de période de préparation. Pour cette nature d'ouvrage, une période de préparation de deux mois ne permettait pas de pouvoir commencer les fondations après seulement deux mois d'étude. En fait, les fondations ne purent démarrer qu'un mois après l'ordre de service de commencer les travaux. Par ailleurs, le site inondable laissait prévoir des aléas importants dans l'exécution.

Pour assurer l'exécution de l'ouvrage dans les délais impartis, deux idées furent retenues :

- ◆ réduire le nombre de voussoirs en portant leur longueur à 3,56 m contre 3,15 m au projet ;
- ◆ réaliser les voussoirs courants sur un cycle de deux jours.

La réalisation des fondations

Les barrettes ont été forées à la boue. Le trépanage à été utilisé pour traverser les passages sableux grésifiés. En travaillant à postes, l'avancement était de deux barrettes par jour.

Les pieux ont été réalisés suivant la même technique complétée par un tubage provisoire dans la traversée des remblais de la culée C0. En effet, les données contractuelles conduisaient à la mise en œuvre de roche massive. L'emploi de ce matériau n'a pas permis d'obtenir l'étanchéité nécessaire pour confiner la boue de bentonite lors du forage.

Recépage

Le recépage des pieux et des barrettes à été réalisé suivant deux techniques. Les premières barrettes ont été recépées grâce au procédé Recepieux. Cette technique consiste à créer une rupture de la barrette au niveau du plan de recépage par l'emploi d'un mortier expansif. Au préalable, toutes les armatures et tubes soniques sont gainés, puis, après bétonnage, des réservoirs munis de tubes de remplissage sont descendus au niveau de recépage (photo 1). Après durcissement du béton, on remplit les réservoirs de mortier dont l'expansion soulève l'ensemble de la partie à démolir. Ce bloc n'a plus qu'à être enlevé à la grue.

Quelques dysfonctionnements de cette méthode, en cours de mise au point à l'époque, nous ont amené à mettre en place une autre procédure. Nous avons conservé le principe de gainage des armatures. La rupture dans le plan de recépage a été provoquée avec deux éclateurs hydrauliques type Darda introduits dans des trous créés à la perforuse à air.

Les deux techniques décrites ci-dessus ont permis après mise au point de réaliser le recépage des 12 barrettes d'une pile en deux jours. La technique par éclateur, plus économique, est un peu moins performante dans la qualité du plan de rupture qui doit être repris au marteau-piqueur.

La réalisation des piles (photo 2)

Choix des coffrages

Compte tenu du faible nombre de réemplois, le choix s'est porté sur des coffrages bois construits spécialement pour le chantier.

Semelles

Les quatre semelles sont enterrées. Elles ont été coffrées avec des panneaux modulaires type Doka Framax. Les deux semelles en bord de rivière ont été réalisées à l'intérieur de deux batardeaux en palplanches. Le bouchon était assuré par le niveau de sable argileux situé sous une couche de graves (figure 2). Les semelles de P3 et P4, ont été réali-

sées dans des batardeaux de protection en "terre". De par la présence des alluvions sablo-graveleuses perméables sur plusieurs mètres de profondeur, il était illusoire de vouloir obtenir un batardeau étanche. Aussi ce batardeau a été réalisé avec les matériaux du site et les venues d'eau étaient compensées par pompage lorsque le niveau de la nappe phréatique remontait au-dessus du fond de fouille.

Socles

Les socles ont été découpés en deux parties pour limiter les surfaces de coffrage, et coulés toute hauteur.

Fûts

Les fûts ont été réalisés en levée de 2.15 allant de une levée pour P1 à quatre levées pour P4. Les ferrailages étaient entièrement préfabriqués sur gabarit.

Chevêtre

Le coffrage du chevêtre a été équipé d'une passerelle inférieure afin de permettre son démontage. De manière à récupérer les cônes de fixation en toute sécurité, le coffrage était dans cette dernière phase tenu sur la pile par des potences en appuis sur le dessus du chevêtre. Les ferrailages de 11,5 t ont été préfabriqués d'un seul tenant. Malgré la densité du ferrailage, grâce à un tracé au sol barre par barre et à la qualité de cette pré-fabrication, l'ensemble était "enfilé" au travers des attentes et des gaines de précontrainte verticale et terminé en deux heures.

La réalisation du tablier

Voussoirs sur piles (photo 3)

Les voussoirs sur piles ont été réalisés en deux phases de bétonnage, la première était constituée du hourdis inférieur, la seconde comprenait les voiles et le hourdis supérieur. Compte tenu du cycle de réalisation des fléaux avec les deux équipages mobiles, avec un seul coffrage, la réalisation d'un VSP ne devait pas dépasser cinq semaines. Cet objectif a été atteint dès le deuxième VSP, les deux derniers ayant été réalisés en quatre semaines. Pour respecter ce délai, les armatures ont été préfabriquées à 80 %. La durée totale du ferrailage en place a été réduit à 4,5 jours. Le coffrage était mixte, métallique à l'extérieur et bois à l'intérieur.

Voussoirs courants (photo 4)

Pour assurer le délai contractuel et optimiser les frais fixes de chantier le planning d'exécution a été bâti avec un cycle moyen de 2,5 jours pour l'ensemble d'un fléau hors premier voussoir. Jusqu'à présent la rotation normale sur pont à encorbellement à inertie variable était de trois jours. Les équipages retenus (deux paires) ont été choisis pour



Photo 2
Vue d'une pile
View of a pier



Photo 3
Vue d'un voussoir sur pile en fin de coffrage
View of segment on pier at end of shuttering



Photo 4
Vue des tabliers en cours de construction
View of decks under construction

leur fiabilité de conception et de fabrication. Une rotation en 2,5 jours correspond à 50 % des voussoirs en trois jours et 50 % en deux jours. Pour tenir ce cycle, il était indispensable de finir le bétonnage du voussoir "n-1" vers 17 heures de manière à le mettre en précontrainte vers 10 heures le lendemain pour enclencher le cycle du voussoir "n". Une





équipe à horaires décalés travaillant en alternance un jour sur une paire d'équipage, le suivant sur l'autre paire, a permis d'obtenir cette rotation sur 75 % des voussoirs.

Le chauffage de l'intérieur des caissons et du hourdis supérieur mis sous abri préfabriqué et chauffé dès la fin du bétonnage complété par l'emploi de béton chaud permet d'envisager de garder cette rotation même pendant les périodes froides.

Les armatures de chaque voussoir sont préfabriquées en deux parties. Le hourdis inférieur et les âmes sont posés en une heure et le hourdis supérieur comprenant les gaines de précontrainte en 2 heures.

Le béton de roche massive

Le marché imposait l'emploi d'un béton de roches massives avec un taux de fines de 10 %. Les carrières de la région ont des gisements de roches magmatiques ou éruptives. Le béton a été mis au point avec des agrégats provenant d'une carrière d'andésite. Le chantier a rapidement été confronté à une instabilité de la fabrication. Après élimination des autres constituants, le rôle prépondérant des fillers du sable a été mis en évidence. Des granulométries laser ont permis de mettre en évidence que 50 % des fines comprises entre 0 et 80 microns étaient inférieures à 5 microns. La moindre variation de la quantité de ces éléments très consommateurs d'eau et d'adjuvant provoque des variations inadmissibles dans le *slump* et la maniabilité des bétons. La production de béton doit être réglée en permanence en fonction du taux de fines des sables.

D'une manière générale, ce béton qui doit être très adjuvanté (jusqu'à 2 % de super plastifiant Glenium 27), est très difficile à pomper et à mettre en œuvre. Des essais en laboratoire ont permis de mettre en évidence le rôle négatif des fines et de montrer qu'une solution serait de défillériser les sables puis de rajouter un filler calcaire industriel.

CONCLUSION

Le viaduc de Digoïn, ouvrage des plus classiques dans sa conception et dans les méthodes d'exécution utilisées met en évidence la possibilité d'améliorer de manière très significative la mise en œuvre. Sa réalisation a montré l'importance des essais et mises au point préalables des aspects innovants, pour limiter les perturbations à l'exécution. Ceci étant particulièrement le cas de l'emploi de béton de roches massives éruptives.

ABSTRACT

**The Digoïn viaduct
A cantilevered viaduct with
variable inertia segments
cast in place every two
days**

P. Dieuaide

The Digoïn viaduct is a conventional bridge in its design. With its two decks of 486 m, it will be the main structure of the Central Europe – Atlantic Route. It includes three span sections of 118 m and two bank sections of 66 m. The four piers are between 11 and 17 m high and are built in a flood plain. The execution methods adopted and the equipment used, already proven, were optimised in order to maintain the pace of one pair of segments every two days for each of the two travelling formwork systems.

RESUMEN ESPAÑOL

**El viaducto de Digoïn
Un viaducto en voladizo con
dovelas de inercia variable
hormigonadas in situ cada
dos días.**

P. Dieuaide

El viaducto de Digoïn constituye un puente convencional debido a su diseño. Con sus dos tableros de 486 m, constituirá la estructura principal de la Carretera Centro Europa Atlántico. Consta de tres tramos de 118 m y dos tramos de extremo de 66 m. Los cuatro pilares principales presentan una altura de 11 y 17 m y están construidos en zona inundable. Los métodos de ejecución y los equipos utilizados, que han dado pruebas de valía en casos anteriores, se han optimizado con objeto de respetar el ciclo de un par de dovelas cada dos días por cada uno de los equipos móviles.

Le projet du second pont sur le Rhin au sud de Strasbourg

Alain Demare



CHEF DU SERVICE
GRANDS TRAVAUX
DDE Bas-Rhin

Guy Treffot



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

François Bouchard



DIRECTEUR RÉGIONAL ET DÉPARTEMENTAL DE L'EQUIPEMENT
DDE Bas-Rhin

Construit selon la technique française du béton précontraint et des encorbellements successifs par une entreprise allemande, ce pont dont la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre sont assurées par l'administration française s'inscrit parfaitement dans le réseau de transport multimodal – tant pour les marchandises que pour les voyageurs – que nous tissons aujourd'hui avec nos voisins allemands.

Difficilement franchissable, le Rhin a de tout temps constitué une frontière naturelle entre les territoires riverains. Entre Bale et Karlsruhe distantes de 200 km, on dénombre seulement une dizaine de franchissements routiers du fleuve.

Le pont de l'Europe entre Strasbourg et Kehl constitue actuellement l'unique liaison entre la France et l'Allemagne au droit de ces agglomérations (photo 1). Cet ouvrage supporte un trafic d'environ 30 000 véhicules/jour soit plus du quart des échanges routiers entre l'Alsace et le Bade-Württemberg. Ce trafic important génère des encombrements préjudiciables aux échanges transfrontaliers, à la circulation urbaine dans les deux agglomérations, à la desserte de la zone portuaire sud et de l'aéroport de Strasbourg-Entzheim. Les premiers franchissements rencontrés sur le Rhin étant situés respectivement à 15 km au nord (barrage de Gamsheim) et à 25 km au sud (barrage de Gerstheim), le moindre incident survenant aux abords du pont de l'Europe paralyserait les échanges entre les deux rives. Par un traité signé le 5 juin 1996, la France et l'Allemagne ont décidé de réaliser un nouveau franchissement du fleuve, au sud de l'agglomération, entre Altenheim (Allemagne) et Eschau (France).

Cet ouvrage permettra de relier la rocade sud de Strasbourg, en cours d'achèvement, au réseau routier allemand à la hauteur d'Offen-



Photo 1
Vue aérienne
du pont de l'Europe

Aerial view
of Europe bridge

burg. Ce nouveau franchissement participera au développement de l'activité économique de Strasbourg et de Kehl et contribuera à réduire les nuisances (bruit, pollution, transports de matières dangereuses) dans la traversée de ces agglomérations.

Il constituera également une nouvelle liaison transversale directe entre les deux axes majeurs du couloir rhénan que constituent les autoroutes A5 (Hambourg - Francfort - Bâle) côté Allemagne et A35 (Karlsruhe - Strasbourg - Mulhouse) côté France. Ce projet revêt donc un caractère vital pour l'aménagement des territoires d'Alsace et du pays de Bade.

Enfin, à l'heure où la construction européenne marque un tournant décisif avec la libre circulation des hommes et des marchandises, l'allègement des contrôles douaniers aux frontières, l'accroissement des échanges, la mise en place d'une monnaie unique et l'ouverture de l'Europe aux pays de l'Est, ce nouveau lien entre la France et l'Allemagne prend une dimension symbolique.

PONTS ROUTIERS

Figure 1
Carte des franchissements du Rhin entre la France et l'Allemagne -

- (1) Pont du Palmrain (Huningue - Weil am Rhein) - (2) Pont autoroutier d'Ottmarsheim - Steinstadt - (3) Pont de Chalampé - Neuenburg - (4) Pont de Neuf-Brisach - Breisach am Rhein - (5) Pont de Marckolsheim - Sasbach - (6) Bac de Rhinau - Kappel - (7) Barrage de Gerstheim - Ottenheim - (8) Pont d'Eschau - Altenheim (présent projet) - (9) Pont de l'Europe (Strasbourg - Kehl) - (10) Barrage de Gamsheim - Rheinau/Freistett - (11) Bac de Drusenheim - Greffern - (12) Barrage de Iffezheim - Roppenheim - (13) Pont de Beinheim - Wintersdorf - (14) Bac de Seltz - Plittersdorf

Map of Rhine crossings between France and Germany -

- (1) Palmrain bridge (Huningue - Weil am Rhein) - (2) Ottmarsheim - Steinstadt motorway bridge - (3) Chalampé - Neuenburg bridge - (4) Neuf-Brisach - Breisach am Rhein bridge - (5) Marckolsheim - Sasbach bridge - (6) Rhinau - Kappel ferry - (7) Gerstheim - Ottenheim dam - (8) Eschau - Altenheim bridge (present project) - (9) The Europe bridge (Strasbourg - Kehl) - (10) Gamsheim - Rheinau/Freistett dam - (11) Drusenheim - Greffern ferry - (12) Iffezheim - Roppenheim dam - (13) Beinheim - Wintersdorf bridge - (14) Seltz - Plittersdorf ferry

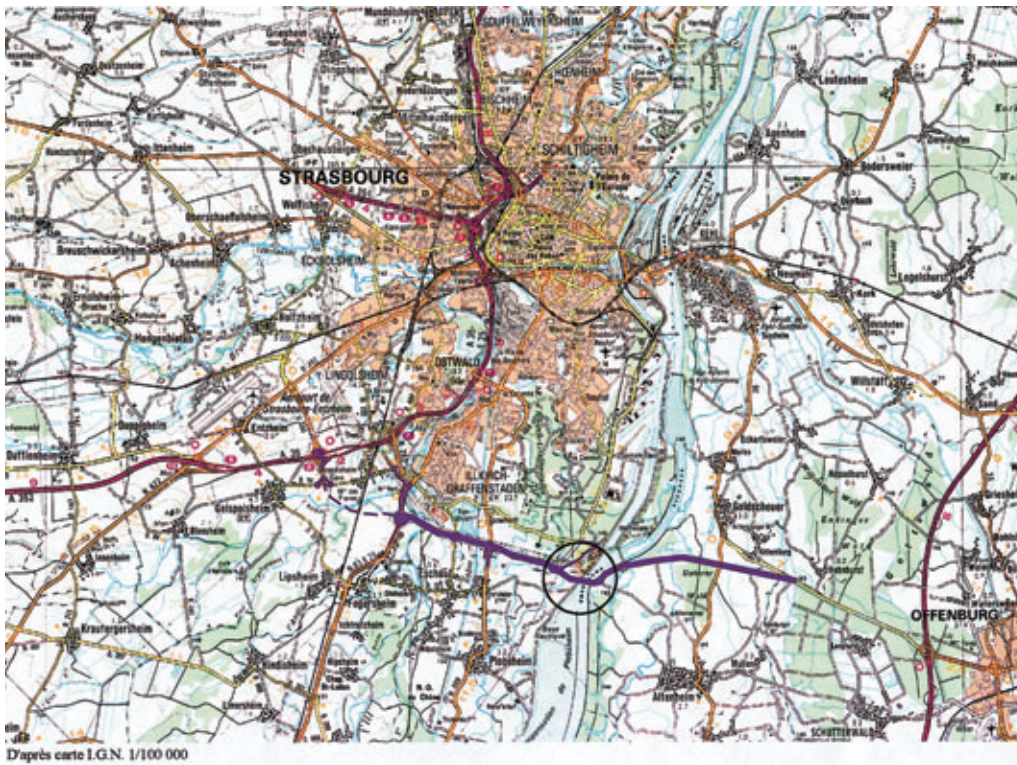


Figure 2
Plan de localisation du projet
Project location

■ QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

Près d'un demi-siècle se sera écoulé pour l'aboutissement de ce projet esquissé au cours des années cinquante. En 1973, le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme (SDAU) de l'agglomération strasbourgeoise propose la réalisation d'une voie nouvelle depuis l'autoroute A35 qui réalisera une ceinture au sud et assurera la desserte de la zone portuaire avant de franchir le Rhin. Cette proposition est reprise par le schéma d'orientation et d'aménagement de l'Alsace adopté en 1976 (figure 1).

Le schéma directeur du Bade-Wurtemberg (Lan-

desentwicklungsplan Baden-Württemberg) de 1983 et le plan d'aménagement de la région du Rhin supérieur (Regionalsplan Südlicher-Oberrhein) retiennent le principe d'un deuxième pont sur le Rhin, au sud de Strasbourg-Kehl, permettant la liaison directe entre les autoroutes A5 et A35 (figure 2).

Ce principe est admis en 1977 par la commission intergouvernementale tripartite franco-germano-suisse qui se prononce, en 1980, en faveur du site d'Altenheim-Eschau.

De 1982 à 1984, la DDE du Bas-Rhin et le Regierungspräsidium de Freiburg étudient et comparent en commun huit variantes de tracé dans le cadre du "dossier de prise en considération" approuvé un an plus tard. En octobre 1986, l'Etat français accepte la maîtrise d'ouvrage de l'opération. La commission centrale de la navigation sur le Rhin (CCNR), instance chargée de la réglementation de la navigation, réunissant l'ensemble des Etats traversés par le fleuve, émet un avis favorable au projet en 1990.

L'étude préliminaire du franchissement est approuvée par le ministre de l'Equipement en 1993; l'année suivante, l'opération est inscrite au contrat "Strasbourg ville européenne" cofinancé par l'Etat français, la région Alsace et le département du Bas-Rhin. L'opération est déclarée d'utilité publique en juin 1996. Le même jour, le traité scellant les accords franco-allemands pour la construction du pont est signé lors du sommet intergouvernemental de Dijon.

A l'automne 1997, la déclaration d'utilité publique est prononcée outre-Rhin et la loi française promulguant la ratification du traité est signée en novembre 1997 après saisine du Conseil Constitutionnel et délibération des Assemblées. Les études détaillées du projet entreprises à partir de 1996 aboutissent au dossier de consultation des entreprises et au lancement des appels d'offres après accord du partenaire allemand sur le financement. Les entreprises attributaires sont désignées mi-1999 et les travaux débuteront au début de l'année 2000 pour une durée de 3 ans.

■ CHOIX DU TRACÉ - VARIANTES DE FRANCHISSEMENT DU FLEUVE

La rocade sud de Strasbourg et la Landstrasse L98 constituent les points de raccordement "obligés" du franchissement du fleuve. Huit variantes de tracé ont été envisagées dans un fuseau d'un kilomètre, compris entre la difluence du "vieux Rhin" et du grand canal d'Alsace au nord, et la section la plus étroite du fleuve, à proximité immédiate du plan d'eau de Plobsheim au sud (figure 3). Les variantes "nord" ont été rapidement écartées. Leurs impacts sur les milieux humides, écologiquement et biologiquement très riches de la forêt

alluviale, en cours de protection, ne peuvent être que très partiellement atténués quels que soient les tracés adoptés. De plus, ces variantes nécessitent de longs ouvrages qui franchissent le grand canal d'Alsace et le vieux Rhin. Enfin ces ouvrages présentent des difficultés techniques importantes de conception et de réalisation (puis ultérieurement de surveillance et de maintenance) des appuis compte tenu de la proximité immédiate du barrage hydroélectrique sur le vieux Rhin.

Les variantes "sud" présentent deux sous-groupes :

- ◆ les variantes contournant la ballastière "UHL" (en territoire allemand) par le sud et l'est. Ces tracés, outre leur allongement de parcours, traversent des secteurs à haute sensibilité écologique, compartimentent le polder d'Altenheim et perturbent l'exploitation de la gravière ;

- ◆ les variantes empruntant l'emprise de la digue en rive droite du Rhin s'avèrent présenter les plus faibles impacts de chaque côté du Rhin. C'est finalement le tracé qui franchit le fleuve dans sa section la plus rétrécie qui a été validé par les deux Etats dans le cadre du dossier de prise en considération (Ergebnisse des deutsch-französischen Studie).

■ PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES ET CONTRAINTES DU FRANCHISSEMENT

Le fleuve, un milieu fortement artificialisé et contraignant

Les aménagements du Rhin

L'aménagement du Rhin supérieur remonte au milieu du XIX^e siècle. Le Rhin était resté, jusque là, un fleuve à l'état sauvage, au lit parsemé d'îles séparées par une succession de chenaux et de faux-bras, et s'étendant sur une largeur de 2 à 3 km. A chaque crue du fleuve, le chenal était modifié.

Les travaux de "correction" du fleuve avec endiguement dans un lit unique d'une largeur moyenne de 300 m planifiés par le colonel badois Tulla ont effectivement amélioré nettement la protection contre les crues, mais ont provoqué une augmentation très notable de la vitesse de l'eau et l'accélération de l'érosion du lit entraînant des difficultés de navigation.

Pour mettre fin à ces conséquences dommageables, les travaux de "régularisation" ont consisté à allonger artificiellement le chenal du Rhin par la mise en place de digues transversales, dites "épis", dans le lit mineur.

Enfin, l'aménagement hydroélectrique du Rhin à partir de 1932 avec la réalisation du grand canal d'Alsace en aval de Kembs, puis du Rhin canalisé a stoppé l'érosion sur les biefs aménagés (photo 2).

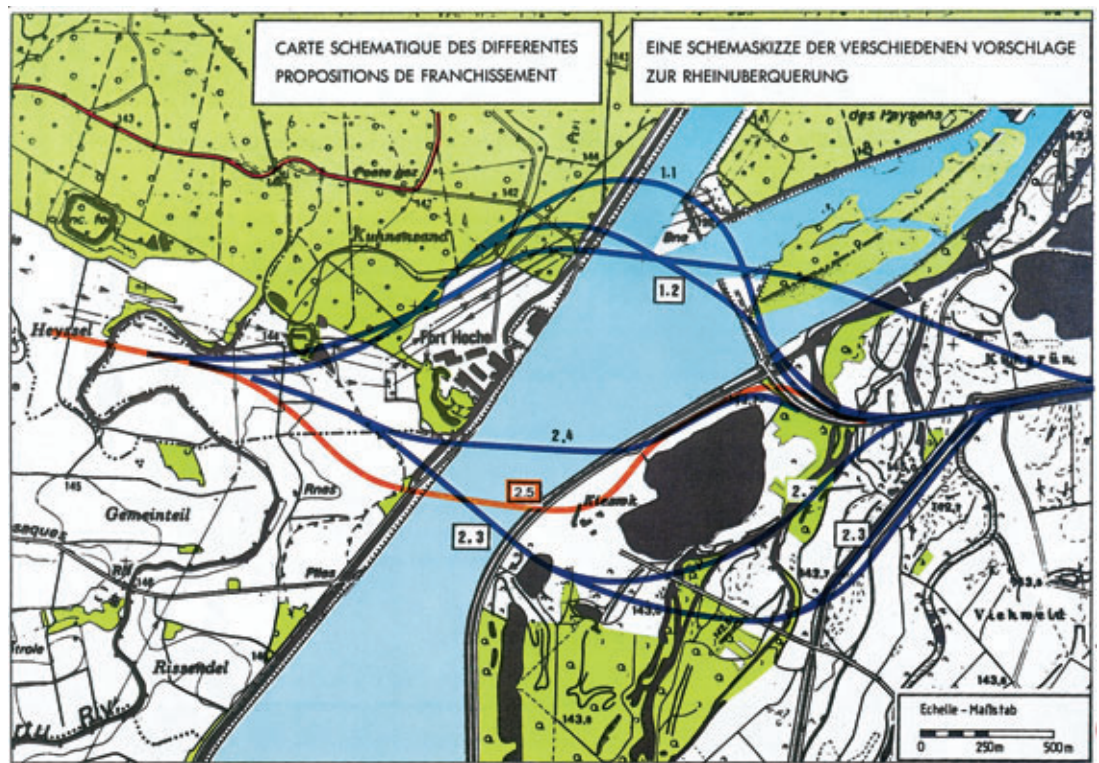


Figure 3
Les différentes variantes de franchissement du fleuve

Different river crossing variants



Photo 2
Vue aérienne du site (vue prise depuis la France)

Aerial view of site (from France)

Le bief de Strasbourg et ses digues en mauvais état

La chute de Strasbourg, huitième bief aménagé du Rhin depuis Bâle, s'étend sur environ 15 km jusqu'aux barrages de Gerstheim en amont. Le niveau de retenue normale est surélevé d'environ 5,50 m au-dessus du terrain naturel au droit du franchissement projeté par des digues latérales.

De nombreuses fuites survenant sous le noyau étanche dès la mise en eau du bief, la digue rive droite a fait l'objet de multiples confortements ultérieurs par palplanches, parois moulées et écrans divers dans les secteurs où le noyau repose directement sur les graves perméables du Rhin.

Le polder d'Altenheim et ses mises en charge aléatoires susceptibles de submerger le chantier

Cet ouvrage réservoir, directement accolé à la digue rive droite, destiné à écrêter les crues du fleuve est traversé par le viaduc d'accès allemand. Son remplissage peut intervenir jusqu'à une cote voisine de celle du fleuve en cas de nécessité. Des remplissages "écologiques" sont également programmés afin de restaurer les milieux humides rhénans.



Photo 3
Vue d'ensemble
du franchissement
(maquette DDE Bas-Rhin -
J. Parreaux)

General view of crossing
(model DDE Bas-Rhin -
J. Parreaux)

La navigation sur le Rhin

Le Rhin, voie d'eau navigable à grand gabarit de près de 1 000 km, accessible en permanence aux bateaux modernes (convois poussés jusqu'à 180 m de longueur et 12 000 t de charge utile) jusqu'à Bâle, permet de relier de façon quasi directe les ports de Bâle et de Strasbourg (deuxième port intérieur français par son trafic) aux grandes plates-formes portuaires de la Ruhr et de la mer du Nord (Rotterdam, premier port maritime d'Europe).

En amont de Strasbourg, le trafic annuel aux écluses est encore supérieur à 32 000 bateaux transportant plus de 22 millions de tonnes de marchandises par an. Aussi, le nouveau franchissement ne doit occasionner aucune gêne à la navigation sur cette artère fluviale d'intérêt économique international.

Le tirant d'air a été fixé à 7,00 m au-dessus des plus hautes eaux navigables pour permettre le passage des bateaux porte-conteneurs.

Compte tenu de la courbure prononcée du fleuve, et afin de permettre les manœuvres des bateaux en toute sécurité, la largeur du chenal navigable a été portée à 152 m après matérialisation des divers emplacements possibles des appuis à l'aide de nacelles flottantes et enquêtes auprès des bateliers. Ainsi, la portée de la travée centrale du pont enjambant le chenal navigable a-t-elle été définitivement fixée à 205 m compte tenu du biais du franchissement et de l'encombrement des appuis. Afin de ne pas gêner la navigation au radar, les appuis dans le fleuve seront munis de réflecteurs déportés des rives des tabliers permettant d'obtenir des échos nets sur les écrans de contrôle des bateaux.

La collision accidentelle d'un bateau contre les appuis dans le fleuve, constitue un événement rare qui doit cependant être pris en compte pour la justification des structures. Après concertation avec les autorités en charge de la navigation et des experts issus de divers pays traversés par le fleuve, l'effort statique équivalent s'appliquant au niveau des PHEN a été fixé à 2 500 t dans le cas d'un choc frontal.

Enfin, les méthodes de construction mises en œuvre devront perturber le moins possible la navigation commerciale, certaines restrictions de largeur de chenal pouvant toutefois être tolérées. La coupure totale de navigation n'est envisageable que sur

de très courtes périodes (quelques heures) au risque de créer des embouteillages de bateaux aux écluses!

Un régime hydraulique capricieux

Le module annuel du Rhin est de l'ordre de 1 090 m³/s. Le débit d'étiage peut descendre en dessous de 400 m³/s et la crue millénaire (retenue pour le projet) est de 6 500 m³/s.

Du fait de la canalisation, les lignes d'eau et la section mouillée ne varient que très peu en fonction de débit. En revanche, les vitesses augmentent sensiblement de façon proportionnelle au débit.

Un lit à la morphologie évolutive au droit du franchissement

Du fait de la courbure prononcée du fleuve, le lit présente un profil dissymétrique avec des surprofondeurs à l'extérieur de la courbe où les courants rotationnels entraînent et maintiennent des fosses d'érosion et une tendance à l'engravement à l'intérieur. A cette évolution générale des fonds se superposent des actions locales dues aux épis de la rive gauche. Ces ouvrages, en éloignant les fosses d'érosions de la rive, participent activement à la protection de la berge rive gauche.

Les milieux humides associés au fleuve : des zones sensibles du point de vue de l'environnement

A quelque centaines de mètres des berges artificielles du fleuve s'étendent des lambeaux de l'ancienne forêt rhénane parcourue par de multiples bras d'eau.

Ces milieux humides prisés par de nombreuses espèces d'oiseaux sauvages et qui bénéficient de différents classements (zone d'intérêt communautaire pour les oiseaux – ZICO –, zone naturelle d'intérêt écologique et faunistique et floristique – ZNIEFF –) doivent bien évidemment être préservés et faire l'objet de précautions et protections particulières durant les travaux.

Contextes géologique, hydrogéologique et géotechnique

La structure géologique, constituée de terrains alluvionnaires du fossé rhénan s'avère relativement homogène sous l'ensemble du franchissement. Les différentes campagnes de reconnaissance géotechnique, en sites terrestre et fluvial, ont mis en évidence les structures suivantes :

- ◆ une couche de limons sableux, d'épaisseur variable entre 0,30 et 3,00 m, d'origine récente et donc non consolidée pour laquelle les caractéristiques pressiométriques sont faibles et dispersées;
- ◆ des couches de graves sablo-limoneuses de compacité croissante et de perméabilité décroissante avec la profondeur reconnues sur près de 40 m au droit du fleuve.

La nappe a été rencontrée environ 1,00 m sous le

LE TRAITÉ FRANCO-ALLEMAND

La construction du pont sur le Rhin entre Eschau et Altenheim a fait l'objet d'un traité signé entre les deux états riverains le 5 juin 1996 précisant les engagements et obligations de chaque partie.

Ce traité précise notamment que le pont principal sur le Rhin est financé à parts égales par les deux états, que la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre pour la construction sont assurées par la France, que l'ouvrage sera conçu et réalisé suivant les règles et règlements en vigueur en France, que chaque état a obligation de réaliser les accès (viaducs et voies routières) au pont principal.

Il fixe par ailleurs les principales caractéristiques techniques du projet, les limites territoriales (les emprises allemandes concernées par les travaux sont considérées comme territoire français pendant la durée du chantier), les régimes de fiscalité applicables, les dispositions douanières particulières, le fonctionnement et les compétences de la commission mixte chargée de la gestion du projet à l'échelon local, enfin les modalités de mise en place des fonds nécessaires par les états.

terrain naturel y compris aux abords des digues du Rhin canalisé. Le suivi des fluctuations de la nappe dans l'environnement des digues révèle une totale indépendance de la nappe et du Rhin en rive gauche où la digue assure son rôle. En revanche, les mesures thermométriques ont décelé des fuites importantes sous le noyau étanche de la digue rive droite.

Prise en compte de l'aléa sismique

Le fossé rhénan figure depuis longtemps parmi les régions susceptibles d'être le siège d'activités sismiques (le séisme de 1356 a anéanti la ville de Bâle). D'après le projet du zonage sismique de la France, le site du franchissement est classé en zone IB. Compte tenu de l'importance stratégique de l'ouvrage, l'accélération nominale (A_n) à prendre en compte pour la justification des structures est égale à 0,25 g selon les règles "AFPS 1992" pour la protection parasismique des ponts.

Les alluvions du Rhin, lâches sur les dix premiers mètres, sont sensibles aux risques de liquéfaction sous l'effet du séisme. Aussi, les fondations par pieux inclinés ont été proscrites afin de se prémunir contre les risques de rupture des pieux d'une part, de diminution du terme de frottement latéral d'autre part.

Géométrie routière - Données fonctionnelles

Le profil en long est constitué d'une parabole de 11 000 m. Le profil en travers résulte d'une harmonisation des largeurs de voies réglementaires de chaque pays. Il se compose de :

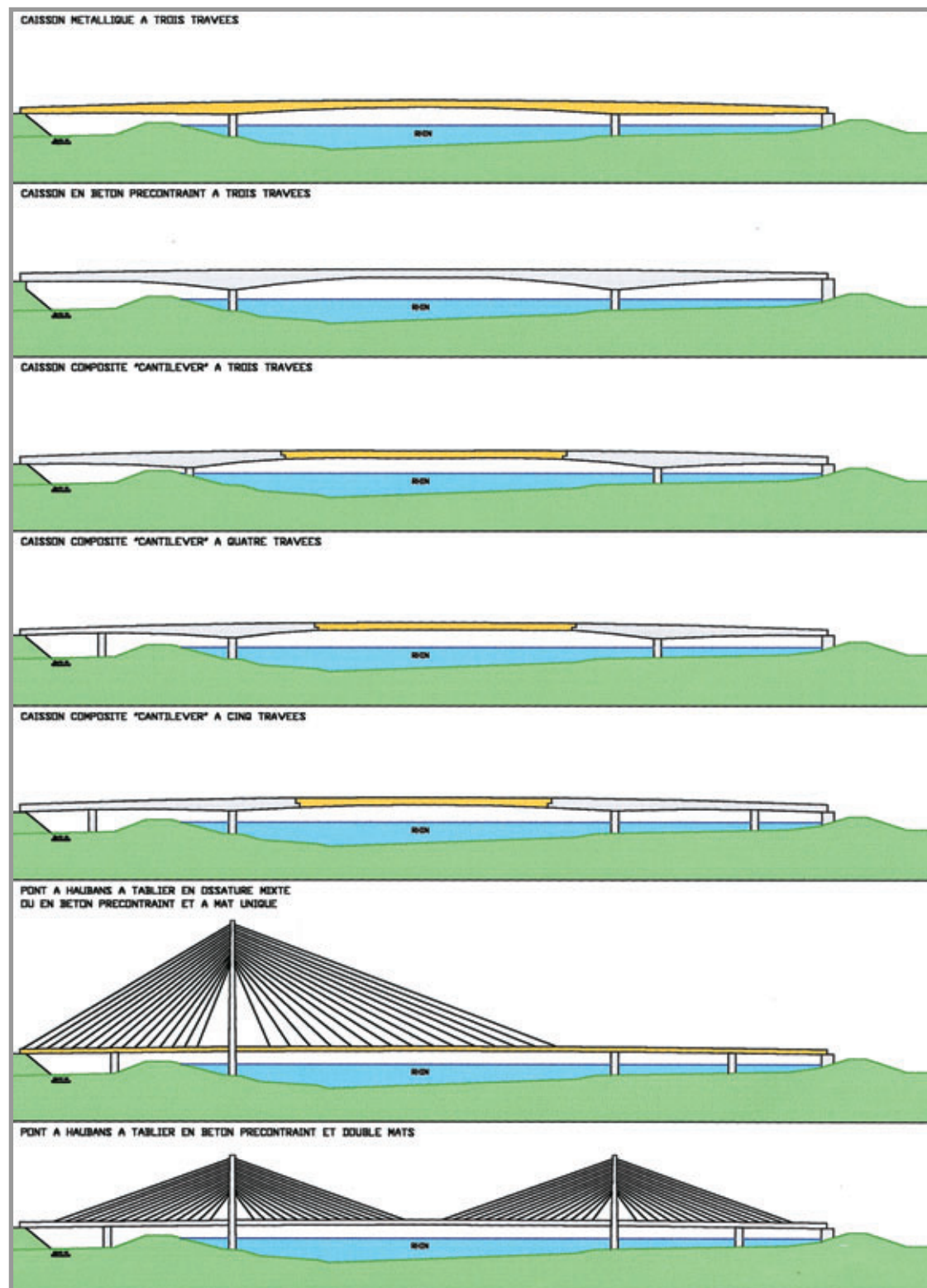
- ◆ deux voies de 4,75 m ;
- ◆ deux barrières GBA de 0,50 m ;
- ◆ au nord, d'une piste cyclable de 3,00 m ;
- ◆ au sud, d'un passage de service de 0,75 m.

Le tracé en plan comprend successivement un rayon de 600 m côté France, un alignement droit sur la longueur du pont principal, un rayon de 280 m côté

LES DIFFÉRENTES SOLUTIONS ENVISAGÉES LORS DES ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

Lors de l'étude préliminaire, huit solutions de structures permettant de supporter deux ou trois voies de circulations ont été examinées pour le pont principal (figure 4).

- ◆ caisson métallique à platelage orthotrope à trois travées de 113, 205 et 113 m, de hauteur variable de 3,80 m à la clé à 6,80 m sur pile ;
- ◆ caisson en béton précontraint à trois travées de 113, 205 et 113 m, de hauteur variable de 4,50 m à la clé à 10,50 m sur pile ;
- ◆ caisson composite cantilever à trois travées de



90, 251 et 90 m. La travée centrale se compose de deux consoles en béton précontraint de 50 m qui prolongent les travées de rive et d'une travée isostatique de 151 m en ossature métallique à dalle orthotrope de 4 m de hauteur. La hauteur sur pile est de 8,50 m ;

- ◆ caisson composite cantilever à quatre travées de 43, 70, 228 et 90 m. La travée métallique isostatique est réduite à 138 m et les consoles à 45 m, la hauteur sur pile à 7,50 m ;
- ◆ caisson composite cantilever à cinq travées de 39, 75, 205, 75 et 38 m. La travée métallique isostatique est réduite à 135 m, les consoles à 35 m et la hauteur sur pile à 6,50 m ;

- ◆ pont à haubans à tablier en ossature mixte et mât unique à cinq travées de 50, 63, 205, 63 et 50 m. Pour des raisons esthétiques, un seul mât est prévu côté France. Seules les trois travées cen-

Figure 4
Les différentes solutions envisagées lors de l'étude préliminaire
Different solutions considered during the preliminary study

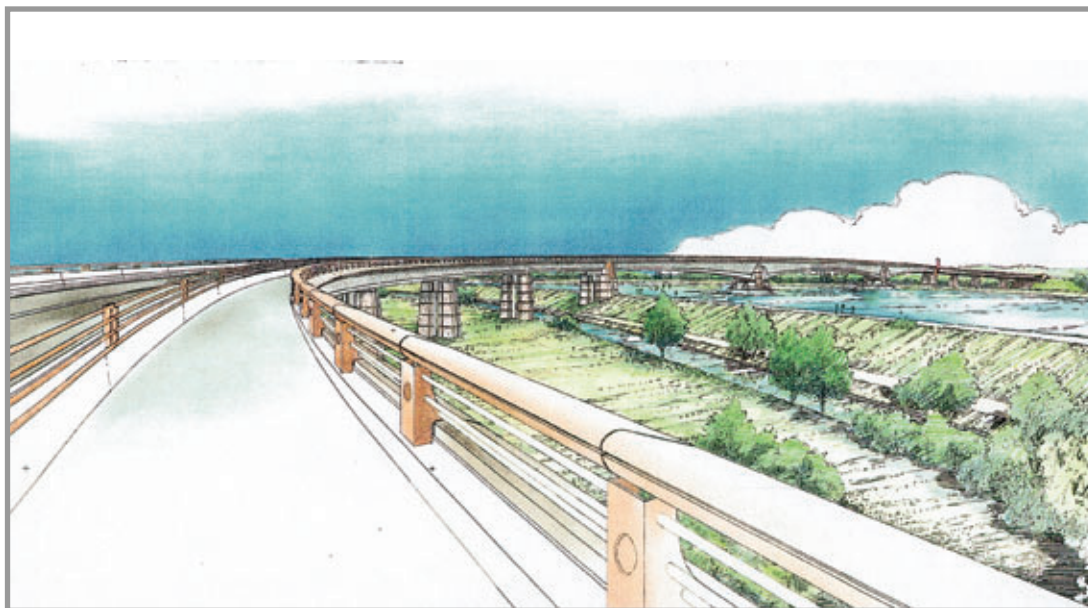


Figure 5
Vue perspective depuis l'Allemagne
(dessin Philippe Fraleu)

Perspective view from Germany

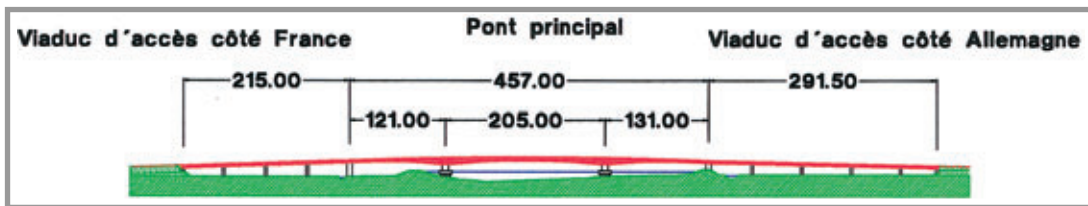


Figure 6
Elévation générale
du franchissement.
Solution retenue

*General elevation
of crossing.
Adopted solution*



trales sont haubanées. Le tablier est constitué d'une structure bipoutre en ossature mixte haute de 2,60 m avec pièces de pont transversales ;

- ◆ pont à haubans à tablier en béton précontraint et mât unique.

Le travelage et les caractéristiques du mât et du haubannage sont identiques à la solution précédente. Le tablier est constitué d'une poutre caisson en béton précontraint à deux âmes inclinées de 2,80 m de hauteur. Dans les travées de rive, le caisson est alourdi pour assurer l'équilibre statique de la structure ;

- ◆ pont à haubans à tablier en béton précontraint et double mâts à cinq travées de 46, 67, 205, 67 et 46 m, et deux mâts s'élevant à 35 m au-dessus des chaussées. L'originalité de cette solution réside dans le haubannage situé dans le plan axial. Le tablier de 20,40 m de largeur, conçu pour supporter 2 x 2 voies de circulation, est un caisson en béton précontraint de 2,50 m de hauteur comportant deux âmes et des bracons pour reprendre les efforts transmis par le haubannage axial.

Comparaison et choix

La solution à haubans comportant deux mâts et un haubannage axial, intéressante du point de vue esthétique, adaptée à la réalisation d'un profil en travers à 2 x 2 voies de circulation, ne répond pas au programme de l'opération. Les solutions de ponts à haubans et à mât unique sont écartées en raison de leur coût élevé et de leur esthétique dis-

cutable lorsque l'ouvrage devra être doublé ultérieurement. Les solutions de ponts composites cantilever présentent plusieurs inconvénients :

- ◆ la construction des tabliers fait appel à deux techniques différentes (béton et métal). Le faible volume de travaux relatif à chacune d'elle, rend ces solutions moins intéressantes du point de vue économique ;
- ◆ la solution 3 travées soustrait la pile côté France aux chocs de bateaux, mais nécessite de construire une grande partie des travées de rive sur cintre ;
- ◆ la solution 4 travées dissymétriques nécessite des cintres pour les travées de rive ;
- ◆ la solution 5 travées permet d'obtenir un caisson plus élancé, mais nécessite de construire un appui supplémentaire dans le fleuve.

Aussi, seules les solutions caisson métallique et caisson béton précontraint à trois travées ont été retenues pour faire l'objet d'études plus approfondies dans le cadre du projet.

Evolutions du projet

Remblais ou viaduc d'accès ?

Compte tenu des contraintes d'emprises au sol liées à la présence de la ballastière, la solution viaduc s'imposait pour la rampe d'accès côté Allemagne. Côté France, une solution "viaduc à quatre travées", d'environ 215 m de longueur totale, a été préférée à un remblai de plus de 20 m de hauteur. Elle procure en effet une meilleure insertion de l'ouvrage dans le paysage ouvert de la vallée du Rhin, elle limite les impacts sur l'environnement (rétablissement des flux faunistiques, préservation des milieux humides associés aux anciens bras du Rhin) et préserve les ressources locales en matériaux de remblai.

Position de la pile-culée côté Allemagne

L'implantation initiale de l'appui, commun au pont principal sur le Rhin et au viaduc d'accès allemand, a été modifiée car il nécessitait d'importants terrassements à travers le noyau de la digue présentant des défauts d'étanchéité et la construction d'un appui dans le contre-canal de drainage pour le viaduc allemand.

La travée de rive du pont principal a finalement été allongée de 18 m (soit 131 m au lieu des 113 m initiaux) et l'étanchéité de la digue a été renforcée par un écran étanche de 110 m de long sur 25 m de profondeur.

■ LA SOLUTION RETENUE À L'ISSUE DES APPELS D'OFFRES

Le dossier de consultation des entreprises prévoyait la mise en concurrence de plusieurs solutions de base, comportant soit des tabliers métalliques ou

mixtes (acier - métal) soit des tabliers entièrement "béton". La description qui suit porte uniquement sur cette dernière solution qui a été retenue à l'issue de l'appel d'offres (figure 5).

Pont principal sur le Rhin

L'ouvrage comporte trois travées de portées respectives 121, 205, 131 m en partant de l'ouest; soit une longueur totale de 457 m (figure 6).

Renforcements et protections préalables des digues existantes

Digue rive gauche

Deux appuis (la pile dans le fleuve P1, la pile-culée C3) sont implantés dans l'environnement direct des digues. Des désordres entraînant des fuites au travers ou sous ces ouvrages survenant à l'occasion des travaux de construction de ces appuis, pourraient provoquer l'inondation des zones urbanisées riveraines du fleuve.

Aussi, afin de garantir la stabilité des digues et éviter tout risque de renard hydraulique lié à la perméabilité élevée des graves rhénanes, des rideaux de palplanches métalliques sont battus préalablement aux travaux de fondations, sur 80 m et jusqu'à 13 m de profondeur en rive française, sur 110 m et jusqu'à 25 de profondeur en rive allemande.

Fondations

Pile-culée rive gauche (C0)

Des fondations sur pieux forés sont préférées à des barrettes compte tenu des risques d'éboulement des parois de forages liés à la nature des alluvions et à la proximité de la nappe. Ces fondations comprennent deux files de trois pieux de 1,30 m de diamètre et de 20 m de longueur.

Piles dans le fleuve (P1 et P2)

Les sollicitations très importantes en cas de choc accidentel d'un bateau déterminent les dimensions des fondations. Du fait de la grande largeur des piles, la profondeur maximale théorique des affouillements est considérable (environ -4 m par rapport aux fonds actuels). Aussi les fondations doivent minimiser les tourbillons susceptibles d'éroder la digue rive gauche et permettre d'entretenir une protection durable de la berge. On a écarté les caissons de grandes dimensions foncés par havage, par crainte de ne pouvoir les descendre assez profondément. On a renoncé également aux pieux jointifs et aux parois moulées. Au-delà d'une faible épaisseur de matériaux fins qui colmatent le fond du lit et isolent les eaux du fleuve de la nappe phréatique, les alluvions deviennent en effet très perméables. En détruisant l'étanchéité naturelle du fond, les travaux provoqueraient des circulations



Photo 4
Etudes hydrauliques sur modèle réduit physique des appuis dans le fleuve. Vue de l'état des fonds au voisinage de la pile P1 après simulation de la crue centennale (essai sans protection)

Hydraulic studies on reduced physical model of bridge bearings in the river. View of condition of bottom near pier P1 after a 100-year flood simulation (test without protection)



Photo 5
Etudes hydrauliques sur modèle réduit physique des appuis dans le fleuve. Chronophotographie faisant apparaître les turbulences et décollements dans le sillage de la pile P1 (essai Q100 avec batardeau)

Hydraulic studies on reduced physical model of bridge bearings in the river. Chronophotography showing the turbulence and separation in the wake of pier P1 (test Q100 with cofferdam)

d'eau nuisibles à la stabilité des parois de forages, voire à la sécurité de la digue rive gauche.

On a retenu finalement des pieux verticaux de gros diamètre (1,80 m), forés à la boue à l'abri de chemises métalliques perdues de 20 mm d'épaisseur. Ces chemises soutiennent les parois des forages au voisinage du lit, protègent les pieux de l'abrasion sur la hauteur éventuellement mise à nu par les affouillements, et participent à la résistance à la flexion.

Pour limiter l'impact sur les écoulements, la semelle de répartition est surélevée bien au-dessus du fond du lit. Des études hydrauliques sur modèle réduit physique ont permis de valider les protections par enrochement du fond du lit aux abords de la pile P1 et de la digue rive gauche (photos 4 et 5).

Pile-culée rive droite (C3)

La pile-culée C3, implantée sur le flanc est de la digue du Rhin, supporte les efforts horizontaux très importants transmis par les deux tabliers en cas de séisme. Les fondations ne doivent pas affecter l'étanchéité ni la stabilité de la digue.

La solution adoptée prévoit la réalisation d'une enceinte en paroi moulée de grande inertie, épousant le contour de la base de la pile-culée et descendue 14 m sous le niveau du terrain naturel initial.

Appuis

Piles-culées (C0 et C3)

Le fût de pile repose sur une semelle rectangulaire; il est creux, décomposé en trois alvéoles et surmonté d'un chevêtre de 2,60 m d'épaisseur qui supporte des butées bloquant les deux tabliers lors du séisme (photo 6). Chaque pile-culée est équipée d'un appareil d'appui spécial glissant longitudinalement, fixe transversalement et d'un appareil d'appui à pot d'élastomère multidirectionnel.

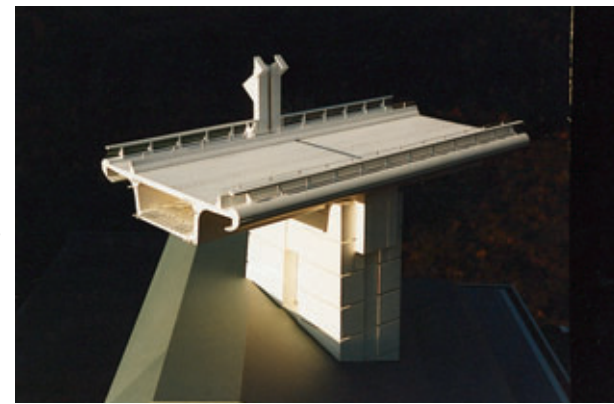


Photo 6
Vue de la pile-culée côté Allemagne avec tablier (maquette DDE Bas-Rhin - J. Parreaux)

View of pier-abutment on German side with deck (model DDE Bas-Rhin - J. Parreaux)

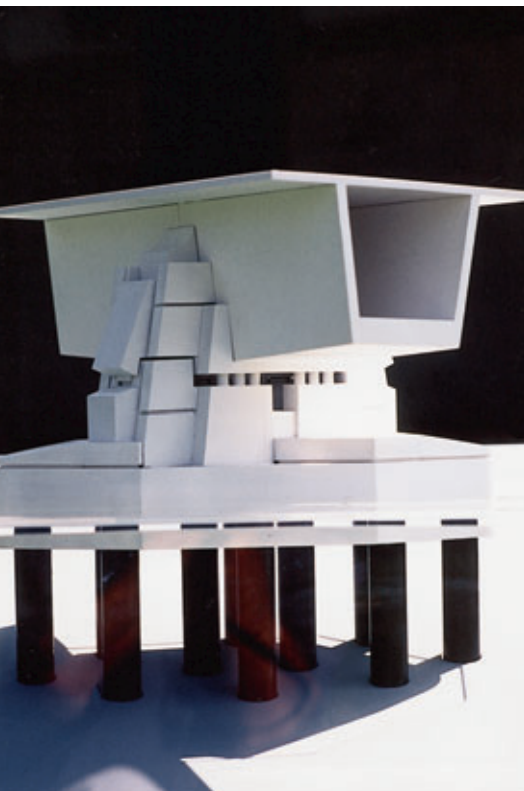


Photo 7
Vue des appuis dans le fleuve avec tablier
(maquette DDE Bas-Rhin - J. Parreaux)

*View of bridge bearings in river
with deck (model DDE Bas-Rhin -
J. Parreaux)*



Photo 8
Vue des appuis dans le fleuve sans tablier.
On distingue le sommier d'appui
(13,00 x 1,50 m) et les volumineuses
butées parasismiques disposées
dans les quatre angles (maquette
DDE Bas-Rhin - J. Parreaux)

*View of bridge bearings in river
without deck. The bearing base
(13.00 x 1.50 m) can be distinguished
as well as the voluminous
earthquake-resistant thrust abutments
in the four corners (model DDE Bas-Rhin -
J. Parreaux)*

Piles dans le fleuve (P1 et P2)

Pour ne pas gêner la navigation d'une part, pour favoriser l'écoulement des eaux et réduire les risques d'embâcle d'autre part, les semelles formant sous-bassement des piles, en forme de losange, de 26 m de long par 11,60 m de large, ont été orientées suivant la direction principale du courant qui présente un biais de 65° avec l'axe du tablier (photo 7). Chaque pile est équipée de onze appareils d'appui en caoutchouc fretté (0,90 x 1,00 m) disposés sur une seule file. Des butées bloquent longitudinalement et transversalement le tablier lorsque celui-ci a subi les déformées sismiques maximales (photo 8).

Les semelles sont coulées à l'intérieur d'un caisson préfabriqué acheminé par flottaison sur le site. Réglé en position à l'aide de pieux métalliques provisoires, ce caisson sert également de gabarit pour l'exécution des pieux définitifs.

Tablier

Le tablier est constitué d'une poutre mono-caisson à deux âmes en béton précontraint, de hauteur variable de 4,50 m à la clé à 9,00 m sur pile et jusqu'à 3,20 m au droit des culées. L'épaisseur des âmes, légèrement inclinées, est voisine de 0,50 m (figure 7). Le hourdis inférieur varie de 1,40 m sur pile à 0,25 m à la clé. Le gousset supérieur s'élargit le long de l'ouvrage au fur et à mesure que s'ancrent les câbles de fléau.

L'intrados parabolique en travée centrale, présente une forme cubique en travée de rive. Le tablier est exécuté par encorbellements successifs avec voussoirs coulés en place. Les deux fléaux sont constitués d'un voussoir sur pile de 8,00 m de long et de 30 ou 32 voussoirs de 3,25 m de part et d'autre. Le voussoir de clavage, en travée centrale, mesure 2,00 m de long.

Les travées de rive sont exécutées en surencorbellement à partir de palées provisoires pour éviter de s'appuyer sur les digues du Rhin. Le projet prévoit le schéma de précontrainte suivant :

- ◆ pour les câbles intérieurs des fléaux P2 et P1, respectivement 32 et 30 paires de 25C15 et 5 et 4 paires de 13C15 pour accrocher les derniers voussoirs ;

- ◆ pour les câbles intérieurs de continuité, 4 paires en travée de rive, 8 paires en travée centrale de 25C15 ;

- ◆ pour les câbles extérieurs, 5 paires de 31T15. Chaque câble extérieur règne sur une seule travée et est démontable. Leur tracé polygonal est obtenu par déviation dans des entretoises sur appuis (pile et culée) et des déviateurs situés environ au tiers et au sixième de travée.

La possibilité de mettre en œuvre une précontrainte additionnelle constituée de deux paires de câbles extérieurs de 19T15 est également prévue.

Le hourdis supérieur est précontraint transversalement par des câbles monotorons gainés gris-

sés, espacés de 40 cm et renforcés au droit des déviateurs, des voussoirs sur pile et sur culée.

Un béton à hautes performances (BHP) dont la résistance à 28 jours est de 65 MPa s'impose compte tenu de l'éclatement inhabituel du caisson sur pile (1/23°) adopté pour abaisser au maximum le profil en long du franchissement.

Viaduc d'accès côté France

Les viaducs d'accès sont entièrement à la charge financière du pays où ils se trouvent. C'est une des raisons pour lesquelles leurs tabliers ont été séparés du tablier du pont principal, sur le plan mécanique, au droit des piles-culées de transition.

Fondations

Les fondations de l'ensemble des appuis sont constituées de pieux forés de 1,30 m de diamètre. Au droit de la culée C10, quatre pieux de 22,00 m de longueur traversent le remblai d'accès et sont ancrés dans les graves sableuses présentant des caractéristiques pressiométriques élevées. Les six pieux de chaque pile, de 17 m de longueur, sont ancrés dans les mêmes horizons.

Appuis

Les piles P11, P12 et P13 sont constituées de deux fûts creux reliés en tête par un chevêtre de 2,50 m d'épaisseur et de 2,45 m de hauteur (photo 9). Cette option permet d'augmenter la souplesse des appuis, de moins solliciter les appareils d'appuis en caoutchouc fretté et de limiter leurs dimensions à 0,95 x 1,00 m. Au droit de la culée C10, le tablier repose sur un chevêtre de 1,50 m d'épaisseur. Les appareils d'appuis en caoutchouc fretté ont pour dimensions 0,90 m x 0,90 m. Des butées transversales retiennent, le tablier lorsque les déplacements prévus sous séisme sont atteints, au droit de chaque appui. Au droit de la pile-culée, des appareils d'appuis glissants à pot reprennent les descentes de charge et retiennent le tablier vis-à-vis des déplacements horizontaux.

Tablier

Les contraintes architecturales imposent au tablier du viaduc d'accès une section transversale extérieure identique à celle de l'extrémité du pont principal et des travées pratiquement égales (52,25 - 2 x 53,75 - 52,25 m) qui s'avèrent bien adaptées à la construction du tablier par poussage (figure 8).

L'emploi du béton à hautes performances (B65) autorise ici un coffrage intérieur simple, avec des épaisseurs constantes réduites à 22 cm pour le hourdis supérieur, à 20 cm pour le hourdis inférieur et à 40 cm pour les âmes. Cet allègement simplifie le câblage de construction. Par ailleurs, l'usage de câbles extérieurs de forte puissance minimise le nombre des ancrages et l'encombrement du cais-

son. Le câblage se compose de câbles 19T15 rectilignes, intérieurs au béton et placés aux quatre angles du caisson, et de câbles 25T15 ondulés extérieurs au béton (six dans les travées centrales, huit dans les travées de rive). Une paire additionnelle peut être installée si le besoin s'en fait sentir. Les câbles intérieurs courent d'un déviateur au suivant et sont tendus dès que possible, au fur et à mesure du bétonnage des tronçons.

A la fin du poussage, les câbles inférieurs sur appuis et les câbles supérieurs en travées sont détendus et injectés. Pendant le poussage, deux paires de câbles extérieurs définitifs sont immédiatement tendus dès que l'entretoise est bétonnée. Les moments qu'ils engendrent sont équilibrés par deux paires de câbles extérieurs antagonistes, qui sont démontés à la fin du poussage.

Le tablier est construit par tiers de travées, en plaçant les joints de reprise juste après les déviateurs et les entretoises sur piles.

Viaduc d'accès côté Allemagne

Le tablier long de 292 m, surplombe le contre-canal de drainage et partiellement les installations de la ballastière. L'implantation des appuis tient compte de l'emplacement des installations fixes de la gravière (bandes transporteuses aériennes et souterraines). La distribution des portées qui en résulte est la suivante en partant de l'ouest : 53,50 - 63,00 - 63,50 - 63,50 - 47,00 m.

La conception des appuis est dérivée de celle des appuis du viaduc français. Afin de limiter l'emprise au sol des piles et les gênes à l'exploitation de la ballastière, les doubles fûts en forme de portique se transforment ici en fûts uniques. Ces fûts s'évasent en partie supérieure sous la forme d'un chevron pour reprendre les descentes de charge du tablier. Compte tenu du faible rayon en plan de 280 m nécessaire pour assurer le raccordement à la voirie d'accès longeant la digue du Rhin, seules les structures de tablier en forme de poutre-caisson en béton précontraint mis en place par poussage ont été envisagées par les services des routes allemandes.

La section extérieure du caisson s'apparente à celle du viaduc français, les épaisseurs des âmes et hourdis sont toutefois plus importantes compte tenu de l'utilisation d'un béton ordinaire B45.

■ CONDUITE DES ÉTUDES

Les études ont été variées : mécanique des sols, hydraulique, études architecturales, études des structures, des bétons, d'environnement... Beaucoup d'entre elles ont été confiées à l'ingénierie privée et au réseau technique du ministère de l'Équipement durant les 15 années où le projet a été sur les planches. Toutefois, la DDE du Bas-Rhin a tou-

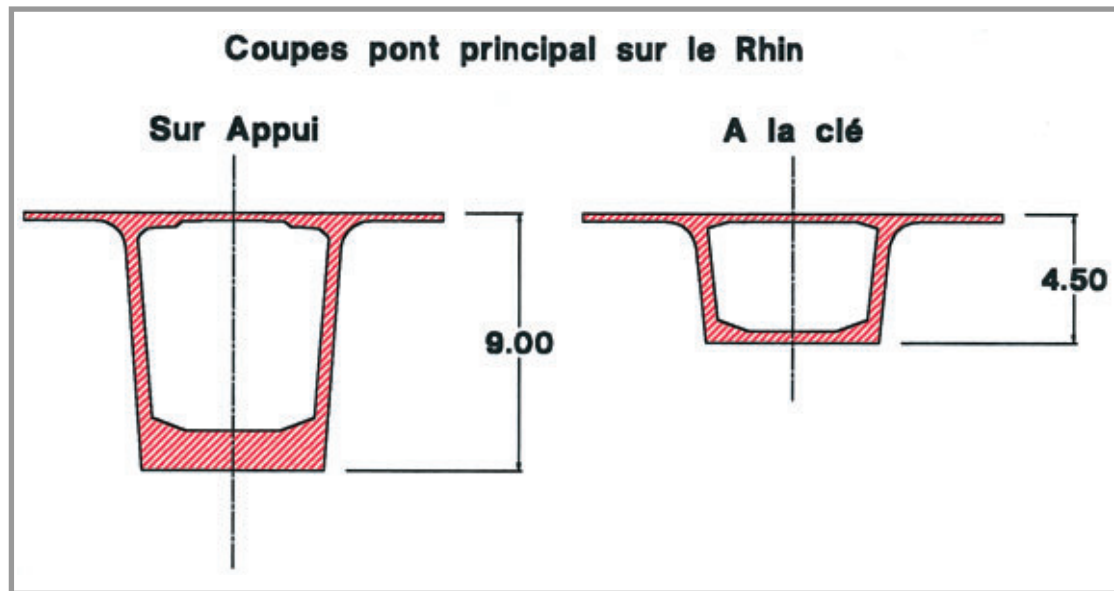


Figure 7
Coupes transversales
du pont principal
*Cross sections
of main bridge*



Photo 9
Vue d'un appui courant
du viaduc d'accès côté France
avec tablier (maquette DDE Bas-Rhin -
J. Parreaux)
*View of an access viaduct
bearing on French side with deck
(model DDE Bas-Rhin - J. Parreaux)*

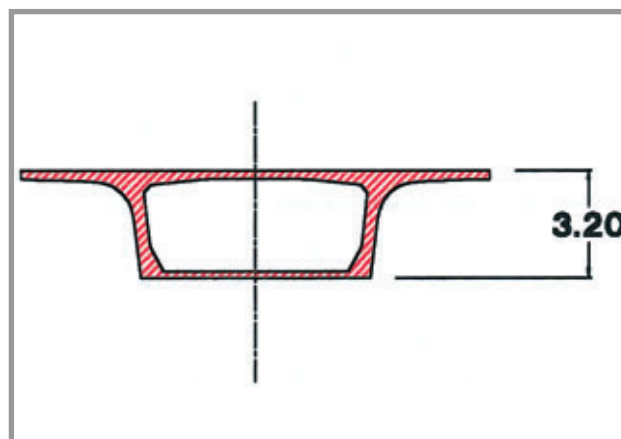


Figure 8
Coupe transversale
du viaduc d'accès
côté France
*Cross section
of access viaduct
on French side*

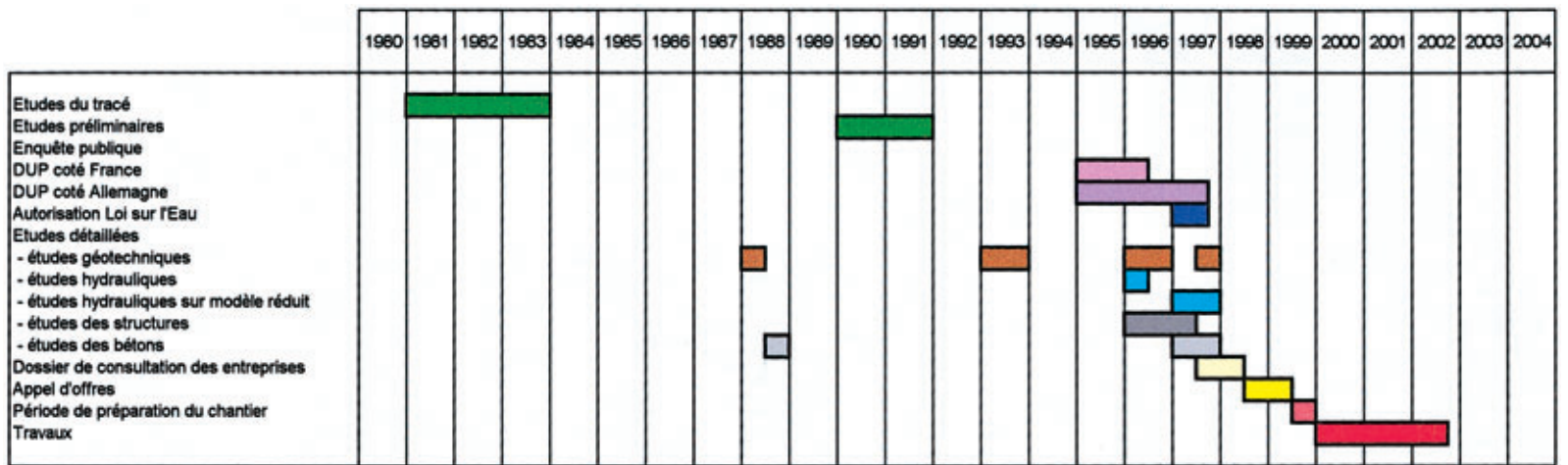


Figure 9
Calendrier des études
Study timetable

► jours joué un rôle prépondérant résumé dans les tableaux récapitulatifs (figure 9). Pour ce projet "phare", la DDE a constitué à partir de 1996 une structure spéciale temporaire uniquement destinée à l'étude et la réalisation de l'ouvrage : la subdivision "Pont sur le Rhin" rattachée au service des Grands Travaux et composée de neuf personnes.

- ◆ viaduc d'accès côté France : 40 millions (maîtrise d'ouvrage Etat français);
- ◆ pont principal sur le Rhin : 150 millions (maîtrise d'ouvrage Etat français et financement mixte franco-allemand);
- ◆ viaduc d'accès côté Allemagne et aménagement de la voie d'accès L98 depuis l'autoroute A5 : 100 millions (maîtrise d'ouvrage Land de Bade-Wurtemberg ≈ 28 millions de DM).

■ L'ATTRIBUTION DES MARCHÉS ET LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Les travaux des accès sont bien avancés. Côté France, la rocade sud de Strasbourg dans la section comprise entre la RN83 et le Rhin (tronçon de caractéristiques autoroutières long d'environ 6 km), en voie d'achèvement, sera mise en service au printemps 2000. Les remblais d'accès au pont, les préchargements nécessaires pour consolider les sols compressibles et l'aménagement des terrains mis à disposition des entrepreneurs chargés de réaliser les ouvrages, commencés comme prévu au printemps 1998, se sont déroulés sans incident.

Côté Allemagne, le renforcement de la digue du Rhin sur plus de 500 m dans la section où la route d'accès s'appuie contre la digue a été réalisé au printemps 1999. Les travaux d'aménagement de la voie d'accès depuis la Bundstrasse B36 ont débuté au cours de l'été 1999.

Les marchés de travaux concernant le pont principal sur le Rhin et le viaduc d'accès côté France ont été attribués après appel d'offres européen au groupement solidaire Bilfinger + Berger - Max Früh (RFA) sur la base d'une solution béton. Les ordres de service ont été délivrés en septembre 1999 pour un délai de 3 ans.

L'appel d'offres relatif au viaduc d'accès côté Allemagne est actuellement en cours de préparation. Le délai global doit permettre une mise en service du franchissement au printemps 2003.

Le coût total du projet transfrontalier, qui s'élève à environ 400 millions de francs TTC, se décompose comme suit :

- ◆ échangeur entre rocade est et sud de Strasbourg et accès au franchissement : 110 millions (maîtrise d'ouvrage Etat français);

■ PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS

Avec sa travée centrale de 205 m⁽¹⁾, le pont sur le Rhin s'inscrit parmi les grands ouvrages d'art construits à l'orée du troisième millénaire. Le recours aux bétons à hautes performances pour les tabliers, la prise en compte du séisme en Alsace, les contraintes fortes liées au fleuve et à la navigation (affouillements, étanchéité des digues, chocs de bateaux...) ont nécessité des études poussées dans différents domaines. Au-delà du défi technique imposé par les caractéristiques inhabituelles de la brèche, ce projet transfrontalier entre la France et l'Allemagne est également une affaire peu ordinaire du point de vue du travail en partenariat entre les intervenants de chaque pays. L'élaboration et la mise au point du projet ont nécessité une très étroite coopération entre les maîtrises d'ouvrage et maîtrises d'œuvre issues de chaque rive. De nombreuses réunions d'échanges auxquelles ont parfois été associés les experts de chaque pays, ont été nécessaires pour comprendre les "différences de l'autre", aplanir et harmoniser les points de vue parfois divergents sur certains aspects réglementaires.

Aux difficultés de communication propres à la langue, se sont ajoutées les différences liées aux règlements, aux cultures, aux traditions et aux mentalités. La transparence, la confiance, le respect et la cordialité entre les partenaires ont prévalu en toutes circonstances. Ce projet de franchissement du Rhin constitue une étape importante en matière de rapprochement et de coopération des administrations, des bureaux d'études et des entreprises des deux pays. Il participe en quelque sorte à la construction de l'Europe.

(1) Dans la catégorie des ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs, les plus grandes portées réalisées en France et en Allemagne sont respectivement le viaduc de Tanus enjambant la vallée du Viour en Aveyron (portée 190 m) et le pont de Bendorf sur le Rhin (portée 208 m).

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrises d'ouvrages

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

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

DDE du Bas-Rhin

Maitrise d'œuvre

DDE du Bas-Rhin - Service Grands travaux

Assistances particulières à la maîtrise d'œuvre lors de la phase d'études et de conception du projet

Etudes des structures

- Setra (pont principal)
- Jean Muller International (viaduc d'accès)
- CETE de l'Est (viaduc d'accès français)

Etudes architecturales

Philippe Fraleu, architecte

Etudes géotechniques et hydrogéologiques

LRPC Strasbourg avec l'assistance de :

- Hydrogeo
- Fondasol
- GTC-Kappelmeyer (RFA) (auscultation des digues par thermographie)
- BAW Karlsruhe (RFA) (diagnostic de la digue rive droite)

Etudes hydrauliques

- Hydratec (études sur modèle mathématique)
- CNR (études sur modèle réduit physique)
- LRPC Blois (bathymétries)

Etudes des bétons

LRPC Strasbourg et LCPC

Etudes des méthodes de construction

Jean Muller International

Etudes d'environnement

- CPRE
- Aquascop

Maquettes

Jean Parreaux (DDE Bas-Rhin)

Coordination sécurité et protection de la santé

OTE

ABSTRACT

The second bridge over the Rhine in Strasbourg

A. Demare, G. Treffot

The second bridge over the Rhine in Strasbourg falls within the framework of a French-German operation aimed at improving highway connections between the two countries.

The project includes a prestressed-concrete bridge over the river with a middle section of 205 m span and two access viaducts, with a total length of 970 m.

The works will begin in the spring of the year 2000.

The article describes the origin of the operation, the guidelines of its design and construction phases which should lead to commissioning in 2003.

RESUMEN ESPAÑOL

El segundo puente sobre el Rin, en Estrasburgo

A. Demare y G. Treffot

El segundo puente sobre el Rin, en Estrasburgo, corresponde a un proyecto franco-alemán que tiene por propósito mejorar las comunicaciones por carretera entre ambos países.

El proyecto incluye un puente sobre el río Rin, de hormigón pretensado, que consta de un ramo central de 205 m de luz y dos viaductos de acceso, para obtener así una longitud total de 970 m. Las obras darán comienzo durante la primavera del año 2000.

El artículo expone la génesis de la operación, los grandes rasgos de su diseño y de su desarrollo, que debe tener como resultado su inauguración en 2003.

Le viaduc de Roquemaure sur la Méditerranée

Les voussoirs courants
Current segments



Batardeaux en rivière
Cofferdams in river

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le prolongement de la ligne à grande vitesse de Paris à Valence vers Marseille et Montpellier nécessite la construction de la ligne TGV Méditerranée. Avant d'arriver au triangle des Angles, la ligne TGV parcourt la plaine de Caderousse à l'est afin d'atteindre le Rhône. Le viaduc de Roquemaure franchit, en cet endroit, le Rhône.

Le viaduc de Roquemaure, de 680 m de long, enjambe successivement, du nord au sud, la RD 237, le bassin déversoir d'inondations, le Rhône, le contre-canal et le CD 101.

Impératifs du projet

La conception de l'ouvrage répond à plusieurs impératifs :

- ◆ le profil doit être le plus bas possible de façon à limiter la hauteur des remblais ;
- ◆ les gabarits de navigation à respecter de 7,0 m au-dessus des plus hautes eaux navigables ;
- ◆ les passes navigables dimensionnées afin de satisfaire les conditions de navigation dans ce secteur ;
- ◆ les appuis dont l'implantation, le nombre et la forme ont été minutieusement étudiés pour limiter l'impact sur l'écoulement des eaux ;
- ◆ les contraintes d'exploitation : tenue de voie, comportement dynamique de l'ouvrage vis-à-vis des sollicitations, des déplacements et de l'accélération.

Etudes préalables

Etude hydraulique

Elle a été menée à partir d'un modèle réduit permettant de rendre compte des effets hydrauliques des courants et d'une étude sur modèle mathé-

matique dans le lit mineur du Rhône qui a permis de connaître l'influence de l'ouvrage sur le niveau amont du fleuve.

Etude de navigation

Des essais de navigation pour les convois poussés descendant et remontant à vide et en charge ont été effectués sur modèle et sur site afin d'étudier les conditions de navigation au droit de l'ouvrage.

La configuration avec des travées principales de 105 m (record pour un ouvrage SNCF) a été retenue. L'adoption d'une telle disposition a été possible moyennant un élargissement du chenal navigable par dragage du lit du Rhône.

Etude sismique

La réponse de l'ouvrage sous l'effet d'un mouvement sismique est calculée par l'analyse modale avec les spectres de réponse définis dans le *Guide AFPS 92 pour la protection parasismique des ponts* avec l'accélération horizontale nominale de 1,5 m/s² à l'état limite ultime et de 0,65 m/s² à l'état limite de service.

■ CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'OUVRAGE

Le viaduc de Roquemaure a une longueur totale de 680 m et une largeur entre nus de garde-corps de 12,70 m.

Il se décompose en huit travées de longueurs 48,00 - 87,00 - 3 x 105,00 - 103,00 - 82,00 - 45,00 m. Les plus grandes travées sont situées au dessus du Rhône. Son tracé en plan est en alignement droit.

Sols et fondations

L'ensemble des piles et des culées repose sur des fondations profondes qui prennent appui sur des sols de bonnes caractéristiques (substratum sableux grésifié ou grés-marneux).

La fondation est constituée de pieux Ø 1,2 m sous les culées et de Ø 1,8 m à 2,0 m sous les piles. Pour chaque fondation une semelle de répartition est réalisée à sec à l'intérieur d'un batardeau étanché à sa base par un bouchon en béton immergé.

Les charges dues à la sous-pression hydrostatique sont reprises par le bouchon. Le poids propre des bouchons n'étant pas suffisant pour équilibrer la



ligne TGV

sous-pression hydrostatique, ceux-ci ont donc été ancrés par des connecteurs soudés sur les chemises métalliques des pieux.

Le batardeau le plus profond a une hauteur d'eau de 16,25 m.

La reprise des poussées est assurée par plusieurs lits de liernes et de butons.

Les dimensions en plan des batardeaux sont dues aux contraintes de navigation. Cette contrainte influe sur la disposition des fondations et ne permet pas d'optimiser celles-ci.

En phase de construction les batardeaux sont protégés en amont comme en aval par des ducs d'Albe placés à 15 m des batardeaux.

Piles

Les piles dans le Rhône (P3 à P5) ont une forme oblongue de 6,5 m par 10 m, orientée suivant le sens d'écoulement du fleuve avec une épaisseur de paroi de 0,80 m.

Leur section a été renforcée pour reprendre les efforts dus aux chocs de bateaux par un diaphragme médian partiel perpendiculaire à la grande dimension. Le chevêtre en tête de ces piles a une épaisseur de 3,87 m.

Les autres piles ont une forme circulaire de 6,5 m de diamètre et une épaisseur de paroi de 0,50 m. Le chevêtre en tête a une épaisseur de 2,57 m.

Tablier

Le tablier est une poutre continue en monocoisson dont la hauteur varie de 8,10 m sur appui à 5,00 m en partie courante.

Pour satisfaire le souhait de l'architecte et respecter le gabarit de navigation, le tablier a une hauteur constante de 5,00 m sur une grande partie des grandes travées (45 m sur 105 m environ). Une courbe de raccordement parabolique est adoptée entre les deux sections extrêmes.

Le tablier est réalisé en béton de qualité B44.

La précontrainte de continuité extérieure au béton est constituée par des câbles 19T15 sous gaines PEHD injectées au coulis de ciment.

Equipement du tablier

La transmission des réactions d'appui verticales est assurée par des appareils d'appui à pot injectables. Le blocage du tablier sur les appuis vis-à-vis des efforts horizontaux est fait à l'aide de butées transversales et longitudinales. Aux deux extrémi-



Voussoir sur pile
Segment on pier

tés du tablier, des joints spécifiques sont prévus pour permettre d'éviter la désorganisation du ballast sous l'effet de déplacements longitudinaux.

■ RÉALISATION

Planning - Phasage

Le chantier est prévu en 24 mois et se décompose de la manière suivante :

- ◆ souille du chenal navigable pour équilibrer la section de l'écoulement occupée par les batardeaux pendant les travaux et les appuis définitifs de l'ouvrage ;
- ◆ batardeaux et ducs d'Albe ;
- ◆ pieux sous appuis ;
- ◆ semelles, fûts, chevêtres ;
- ◆ voussoirs sur pile ;
- ◆ fléaux du tablier réalisés à l'aide des équipages mobiles et la précontrainte de fléau ;
- ◆ clavage et mise en précontrainte ;
- ◆ mise sur appuis définitifs par vérinage des appuis injectables Reston ;
- ◆ précontrainte de continuité extérieure. Pose des corniches ;
- ◆ étanchéité, caniveau, finitions.

Appuis dans le Rhône

Contraintes du site

Le Rhône : débit, courant, déversoir

Au niveau du chantier, le Rhône peut avoir des débits de 1000 m³/s l'été et 1600 m³/s l'hiver dans sa configuration normale.

Les variations de débit et de niveau du Rhône peuvent être rapides et importantes en fonction de la

Opération
de clavage
*Keying
operation*



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

RFF, représenté par la direction de la Ligne Nouvelle TGV Méditerranée (LN5), mandataire du maître d'ouvrage

Maître d'œuvre Travaux

SNCF - LN5, division territoriale du Vaucluse

Architecte

Alain Amedeo

Conception et vérification des études d'exécution

SNCF - Direction de l'ingénierie (IG-ON)

Groupeement d'entreprises

Demathieu & Bard - Fougerolle Ballot - Razel - EMCC

Etudes d'exécution ouvrage

PX Consultants

Etudes d'exécution batardeaux

EMCC - SERF

Conseil géotechnique en calculs sismiques

Géodynamique et structure

Terrassement

Fougerolle Ballot - Razel

Fondations

Sade

Appareils d'appui injectables

ETIC (licence Reston)

Equipages mobiles

Ersem

Précontrainte

Freyssinet

Armatures

SAMT

Etanchéité

Cotra



pluviométrie et des lâchers d'eau des différents barrages du Rhône. Les débits sont de 3 800 m³/s pour les Plus Hautes Eaux Navigables (PHEN), 7 200 m³/s pour la crue décennale, 8 400 m³/s pour la crue trentenaire, 10 000 m³/s pour la crue centennale. Les vitesses varient de 1 à 4,2 m/s. La rive droite du Rhône est non inondable jusqu'à la crue millénaire, la rive gauche est inondable par les crues moyennes et fortes du Rhône.

Navigation

Les deux passes navigables existantes ont été maintenues pendant la durée du chantier. La circulation des péniches et des convois de grande longueur (200 m) représente six unités par jour en moyenne.

Le vent : le mistral

La vallée du Rhône est soumise au mistral qui se caractérise par de fréquents forts coups de vent atteignant jusqu'à 140 km/h sur des durées de 3 à 9 jours.

Moyens nautiques nécessaires

Les souilles ont été réalisées par ponton *deeper*. Les évacuations des matériaux sont faites à l'aide de barges remorquées, déchargées sur le quai à matériaux construit pour la circonstance. Le matériel de battage et de vibrofonçage est placé sur un ponton à colonnes vérinables supportant une grue de 100 t. Les enrochements ont été mis en place à l'aide d'un chaland à clapets.

Enfin, les remorqueurs utilisés affichent une puissance de 300 CV, ce qui permet une utilisation rationnelle des moyens jusqu'à un débit de 2 200 m³/s.

Accès aux piles dans le Rhône

Une estacade en rive droite et une estacade en rive gauche ont permis l'acheminement des matériaux directement sous les grues à tour des deux premières piles en rivière.

La pile P4 ne peut être alimentée que par des moyens fluviaux (ponton + remorqueur), sauf pour le béton qui est pompé à l'aide d'une conduite immergée dans une souille en fond de rivière, à partir de la rive gauche.

Batardeaux

L'exécution des batardeaux a été réalisée par vibrofonçage et battage de palplanches de type PU32 ou L4S.

Les batardeaux en rivière ont été exécutés en forme de bateau, avec protection par ducs d'Albe à l'amont et à l'aval.

Fondations

Les fondations profondes sont constituées par des pieux de Ø 1 800 et Ø 2 000 pouvant atteindre la longueur de 36 m sous la surface de l'eau. Le matériel utilisé est constitué par une foreuse type Soilmecc pour le forage. L'évacuation des déblais se fait par barge et remorqueur, l'amenée des boues bentonitiques et du béton par pompage, à l'aide de conduites aérienne ou immergée dans la rivière.

Piles

Les bouchons sont exécutés par tube plongeur, le béton étant acheminé par pompage à partir des berges.

Après épuisement du batardeau, recépage des pieux, et nivellement du bouchon, le ferrailage des semelles est acheminé par moyens fluviaux (remorqueur et ponton). Le béton est pompé à l'aide de conduites aérienne ou immergée.

Les fûts de pile sont réalisés avec un coffrage grimpeur pour chaque type de pile. Il permet des levées de 2,60 m ou 3,90 m de hauteur. La peau extérieure de l'outil est une matrice Reckli type 2/69 Marne avec joint horizontal en polyuréthane tous les 1,30 m.

Les appareils d'appui, de type Reston injectables, sont prépositionnés lors de la construction des VSP. La mise en charge de ces appuis est effectuée par injection du pot au moyen d'un produit bicomposant polymérisant dans un délai de huit à dix heures. Cette mise en charge est effectuée après chaque clavage des fléaux du tablier sur l'appui concerné.

Un capteur de pression permet de faire la mesure des réactions d'appui à tout instant.

Tablier

Réalisation des VSP

Les VSP sont construits sur quatre appuis provisoires en béton positionnés sur la pile. Les VSP sont réalisés en deux phases, au moyen d'un coffrage spécifique métallique.

Une fois achevés, ces VSP sont liés provisoirement aux piles de l'ouvrage par des câbles de précontrainte 19T15 afin d'assurer la stabilité des fléaux en cours de construction.

Coffrage des parties sur cintres

Le coffrage des parties sur cintres repose sur un platelage support prenant appui d'un côté sur le



L'ouvrage
terminé
*The completed
structure*

chevêtre de culée, et de l'autre sur deux tubes provisoires métalliques fondés sur pieux.

Réalisation des fléaux par équipage mobile

Les fléaux sont exécutés au moyen de deux paires d'équipage mobile de conception dite "par en dessous". Les poutres principales, porteuses de l'ensemble du coffrage, sont positionnées sous l'intrados des encorbellements du tablier et libèrent entièrement la surface d'emprise des coffrages, permettant la pose de cages d'armatures préfabriquées et facilitant le bétonnage. En phase de bétonnage, ces poutres prennent appui sur les voussoirs précédemment construits.

Précontrainte

La précontrainte est réalisée au moyen de câbles 13T15 pour les fléaux et de câbles 19T15 pour les clavages et la précontrainte extérieure de continuité.

ABSTRACT

The Roquemaure viaduct on the TGV Mediterranean high-speed train line

D. Mary

The extension of the high-speed train line from Paris to Valence towards Marseille and Montpellier requires the construction of the TGV Mediterranean line. Before reaching the triangle of the Angles, the TGV high-speed line crosses the Caderousse plain in the east to reach the Rhone. The Roquemaure viaduct crosses the Rhone at this location.

The Roquemaure viaduct, 680 m long, spans successively, from north to south, highway RD 237, the flood spillway basin, the Rhone, the counter-channel and highway CD 101.

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto de Roquemaure, en la línea del Tren de Alta Velocidad Mediterráneo

D. Mary

La prolongación de la línea de alta velocidad de París a Valence, hacia Marsella y Montpellier, precisa construir la línea de alta velocidad Mediterráneo. Antes de penetrar en el triángulo de Les Angles, la línea pasa por la planicie de Caderousse, hacia el este, con objeto de llegar hasta el Ródano. El viaducto de Roquemaure salva en este punto, el río del mismo nombre.

El viaducto de Roquemaure - de una longitud de 680 m - salva sucesivamente, de norte a sur, la carretera departamental 237, el vertedero de inundaciones, el río Ródano, el contra-canal y la carretera secundaria CD 101.

A 10 - Le viaduc de

La mise à 2 x 3 voies de l'autoroute A10 au nord de l'agglomération bordelaise a été déclarée d'utilité publique en mars 1996. ASF est concessionnaire de ces 16,5 km entre Virsac et Lormont depuis novembre 1997.

Cet aménagement nécessite la construction d'un nouveau viaduc sur la Dordogne, accolé à l'existant et qui accueillera à terme la circulation Paris - Bordeaux.

La circulation Bordeaux - Paris sera elle, affectée sur le viaduc existant qui passera de 2 x 2 voies à 2 x 3 voies + B.A.U.

Prioritaire dans la programmation des travaux d'élargissement, le nouveau viaduc est presque terminé. Frère "jumeau" de l'ancien, 25 ans après, il n'en diffère que par l'introduction des techniques actuelles (pieux forés de gros diamètre en lieu et place des caissons havés et précontrainte extérieure au béton mais intérieure au caisson). Il va être mis en circulation en juin 2000, date à laquelle la circulation sera basculée sur le nouvel ouvrage durant la fermeture, pour réhabilitation, du viaduc existant.

ASF

Forage des pieux en rivière au trépan émulseur
Boring of piles in river with emulsifying bit



■ LE PROJET EN COURS DE CONSTRUCTION

Présentation générale du projet

L'ouvrage en cours de construction, long de 1 174,35 m entre axes d'appuis des culées, assure le franchissement de la Dordogne par l'autoroute A10 au nord de Bordeaux sur les communes de Cubzac-les-Ponts et de Saint-Vincent-de-Paul. Les travaux qui ont débuté en septembre 1998 s'achèveront en avril 2000. Le nouveau viaduc sur la Dordogne permettra le doublement dans le sens Paris-Bordeaux du viaduc existant dans le cadre de l'élargissement à 2 x 3 voies de l'autoroute A10.

Caractéristiques géométriques et fonctionnelles du nouveau viaduc

Le tracé en plan de l'axe de l'A10 décrit une courbe en "S" sur la longueur de l'ouvrage. Le tracé en plan du nouvel ouvrage est parallèle à celui de l'existant. Les bords des deux tabliers sont distants de 1,80 m. Le profil en long, similaire à celui de l'ouvrage actuel, se caractérise par une pente constante de 5 % sur les accès et par un rayon circulaire de 8 000 m en zone centrale.

Le profil en long du nouvel ouvrage est légèrement plus haut, d'environ 20 cm, que le profil en long de l'ouvrage existant. Le tablier est à dévers unique variable le long de l'ouvrage avec un maximum de 5 %.

L'ouvrage franchit la Dordogne en dégageant un gabarit de navigation de 60 m de longueur et de 26 m de hauteur par rapport à l'étiage.

Le viaduc surplombe la RD 137 en rive droite et la RD 115 en rive gauche en ménageant des ga-

barits routiers de 4,40 m au-dessus des chaussées circulées.

L'ouvrage porte une chaussée d'une largeur utile de 16 m entre dispositifs de retenue des véhicules. Cette largeur utile identique à celle du tablier actuel permet de basculer la circulation sur le nouvel ouvrage pendant la phase de réhabilitation de l'ouvrage existant moyennant la mise en œuvre d'un séparateur central.

En phase d'exploitation normale, le profil en travers fonctionnel comporte :

- ◆ une bande d'arrêt d'urgence de 3,50 m ;
- ◆ trois voies de circulation de 3,50 m ;
- ◆ une bande dérasée de gauche de 2 m.

Description de l'ouvrage

Le nouveau viaduc sur la Dordogne est un ouvrage préfabriqué en béton précontraint construit par encoissements successifs. La longueur totale est de 1 174,35 m entre axes d'appuis des culées se répartissant de la manière suivante :

42,02 m - 4 x 58,59 m - 76,92 m - 5 x 95,30 m - 71,45 m - 4 x 57,77 m - 42,02 m.

Le tablier est un monocaisson à âmes inclinées ; il est de hauteur variable dans les travées franchissant la Dordogne et de hauteur constante dans les autres travées.

Les piles sont de formes rectangulaires ; elles sont agrémentées par une ouverture en partie supérieure.

Les fondations

Les culées sont fondées sur six pieux forés de 1,20 m de diamètre. Les piles à terre sont fondées sur quatre pieux forés de 1,50 m de diamètre de longueur variant entre 14,30 m et 28,00 m. Les piles en rivière sont fondées sur six pieux forés de 2,00 m de diamètre de longueur variant entre 18,10 m et 24,70 m. Tous les pieux sont ancrés d'au moins trois diamètres dans le substratum marneux.

Les corps d'appuis

Le tablier repose sur seize piles (dix à terre et six en rivière). Les piles les moins hautes, dont la hauteur varie entre 4,50 m et 7,40 m environ, sont pleines. Les autres piles à terre ont une hauteur variant entre 10 m et 15,50 m environ. Elles comportent une ouverture sous le chevêtre d'appui et sont en forme de caisson rectangulaire creux sous cette ouverture.

La largeur des fûts à terre est de 2,70 m, leur lon-

la Dordogne

gueur de 7,80 m. Les piles en rivière ont une hauteur qui varie entre 22,80 m et 26,30 m environ. Elles comportent également une ouverture en partie supérieure et sont creuses sous cette ouverture.

La largeur des fûts en rivière est de 4,10 m, leur longueur est de 6,50 m.

Les culées sont fermées par des murs cache tout en restant accessibles par une porte.

Le tablier

La hauteur du tablier varie paraboliquement de 5,50 m à 2,85 m pour les travées en rivière. Elle est constante et égale à 2,85 m pour les travées à terre. L'ouvrage a été découpé en 355 voussoirs préfabriqués. Chaque voussoir est raidi transversalement par deux nervures précontraintes espacées d'environ 1,70 m. La largeur du tablier est de 17,14 m et celle des encorbellements de 3,98 m. L'épaisseur du hourdis est constante, hors nervures, et égale à 0,18 m.

Les âmes sont inclinées à 3 pour 1. Leur épaisseur varie de 0,40 m à 0,60 m. Le hourdis inférieur à une épaisseur variant de 0,22 m à 0,60 m.

La précontrainte transversale est assurée par des câbles 4 T15 S.

La précontrainte longitudinale se décompose classiquement en trois familles :

- ◆ les câbles de fléaux : 19 T15 S ;
- ◆ les câbles éclisses : 19 T15 S ;
- ◆ les câbles de continuité : 27 T15 S sous forme de précontrainte extérieure.

Equipements du tablier

Tous les appareils d'appui sont à pot d'élastomère de capacité unitaire variant de 500 à 2500 t ; des points fixes sont disposés de part et d'autre de la travée centrale.

Des joints de chaussée lourds de 700 mm de soufflé seront disposés aux deux extrémités du tablier.

Le tablier sera protégé par une chape d'étanchéité de 3 cm d'épaisseur surmontée d'une couche de roulement en béton bitumineux à module élevé de 6 cm d'épaisseur.

Le viaduc sera équipé de corniches caniveaux, et de collecteurs sous encorbellement (dans les zones d'inversion du dévers), de récupération et de canalisation des eaux de ruissellement jusqu'aux culées.

Les deux rives du tablier seront munies de barrières BN4. Des candélabres assureront l'éclairage dans l'axe de la future A10 élargie.

L'intérieur du caisson sera éclairé et muni des che-

mins de câbles nécessaires aux passages des futurs réseaux.

Des dispositifs de visite et d'entretien sont prévus pour accéder aux culées, aux parties creuses des piles ainsi qu'aux chevêtres des piles.

L'intérieur du tablier sera équipé pour permettre le franchissement au droit des entretoises et déviateurs.

Des trappes sont également prévues dans le hourdis inférieur du tablier pour permettre la manutention de charges depuis l'intérieur du caisson.

LES TRAVAUX

Dates clés

Les travaux sont à réaliser en 23 mois :

- ◆ de mai 1998 à mai 1999 : études d'exécution ;
- ◆ de juillet 1998 à décembre 1998 : travaux préparatoires ;
- ◆ de septembre 1998 à juillet 1999 : fondations ;
- ◆ de octobre 1998 à décembre 1999 : corps d'appuis ;
- ◆ de février 1999 à janvier 2000 : préfabrication du tablier ;
- ◆ d'avril 1999 à février 2000 : pose du tablier ;
- ◆ de décembre 1999 à avril 2000 : superstructures.

LES FONDATIONS

Les pieux des culées ont été forés à l'abri de chemises métalliques définitives. Les pieux des piles à terre ont été forés sous boue bentonitique avec tubage provisoire en tête. Les pieux des piles en rivière ont été réalisés à l'abri de tubages métalliques définitifs à l'aide d'un trépan émulseur. Ces pieux ont été exécutés à l'intérieur de batardeaux octogonaux en palplanches recépés ultérieurement au niveau des semelles.

Les pieux sont surmontés par un bouchon en béton immergé de 2,50 m d'épaisseur qui a permis le bétonnage des semelles de fondation hors d'eau.

RÉALISATION DU TABLIER

Mode de construction

Dans la solution variante proposée par le groupe-

Jean-Marc Jaeger
INGÉNIEUR - CHEF DE PROJET
Setec TPI

Salvador Nunez
INGÉNIEUR RESPONSABLE
DE LA CELLULE TRAVAUX
Setec TP

Jean- Jacques Bianchi
DIRECTEUR DE TRAVAUX
Campenon Bernard SGE

Didier Primault
INGÉNIEUR PRINCIPAL
Campenon Bernard SGE



Pile en rivière

Pier in river

Usine de préfabrication - Stockage des voussoirs
Segment pre-casting and storage



travée ont été implantées au droit d'une nervure. Le tablier est constitué de trois parties principales :

- ◆ 5 fléaux à terre en rive droite ;
- ◆ 6 fléaux en rivière ;
- ◆ 5 fléaux à terre en rive gauche.

Les dix fléaux à terre sont constitués de voussoirs à hauteur constante de 2,85 m. Chaque fléau est constitué de :

- ◆ 2 demi-VSP de longueur 1,80 m ;
- ◆ 4 voussoirs déviateurs de longueur comprise entre 3,37 m et 3,49 m ;

◆ 22 voussoirs courants de longueur comprise entre 3,37 m et 3,49 m, soit 18 voussoirs par fléau. Les six fléaux en rivière sont constitués de voussoirs à hauteur variable de 5,50 m à 2,85 m. Chaque fléau est constitué de :

- ◆ 2 demi-VSP de longueur 2,20 m ;
- ◆ 2 voussoirs déviateurs de longueur comprise entre 3,37 m et 3,49 m ;

◆ 10 voussoirs courants de longueur comprise entre 3,37 m et 3,49 m, soit 26 voussoirs par fléau. La quantité totale est de 355 voussoirs, dont 321 voussoirs courants et déviateurs et 34 voussoirs spéciaux – demi-voussoir sur pile (1/2 VSP) et voussoir sur culée (VSC). Le volume de béton par unité est variable :

- ◆ 30 m³ à 45 m³ pour les voussoirs courants ;
- ◆ 38 m³ et 56 m³ pour les demi-VSP.

Organisation de la production

L'usine de préfabrication doit produire ces 355 voussoirs en 11 mois, soit en pointe une production de 2,2 voussoirs/jour. Pour réaliser cet objectif, l'usine est organisée autour de trois cellules :

- ◆ 2 cellules pour les voussoirs courants et déviateurs ;
- ◆ 1 cellule pour les voussoirs spéciaux (1/2 VSP, VSC).

Le cycle de réalisation d'un voussoir courant est de un jour par unité. Le voussoir est décoffré le lendemain du bétonnage, puis translaté en position contre-moule pour couler le voussoir suivant. Le voussoir est levé et transporté au stock le jour suivant. La durée d'immobilisation du voussoir dans la cellule est donc de deux jours, ce qui permet d'atteindre une résistance suffisante du béton au moment du levage.

La durée de réalisation des voussoirs spéciaux (1/2 VSP ou VSC) est de cinq jours par unité, soit un rendement en pointe de 0,2 voussoir par jour et par cellule.

Usine de préfabrication

L'usine est organisée autour des cellules de préfabrication. Les trois cellules sont alignées entre les longrines d'un portique sur rails de 150 t. Ce portique, qui a une portée de 23 m et une hauteur sous crochet de 15 m, sert exclusivement au levage et au chargement des voussoirs. Il couvre l'aire de stockage des voussoirs installée dans



soirs, y compris les travées de rive. Fort de l'expérience du premier ouvrage posé aux treuils, le groupement a souhaité présenter une variante de pose au moyen de grues.

Cette technique de pose a été utilisée par Campenon Bernard SGE sur des ouvrages à terre : viaduc Exposition du pont Vasco de Gama, et sur des ouvrages en rivière : pont d'Arcins sur la Garonne et viaduc Central du pont Vasco de Gama.

Préfabrication du tablier

Le tablier est entièrement préfabriqué en voussoirs. Les seuls bétons coulés en place sont ceux des joints de clavage de 30 cm entre les fléaux et des longrines de barrières BN4.

Principe

Les voussoirs sont coulés dans des cellules selon la méthode de préfabrication à joints conjugués. Cette méthode consiste à couler un voussoir contre le précédent, qui sert de "contre-moule", afin d'assurer une parfaite conjugaison des voussoirs lors de leur mise en place. Tous les voussoirs d'un fléau sont conjugués entre eux. La préfabrication de chaque fléau est réalisée dans le sens de la pose du voussoir sur pile jusqu'aux joints de clavage.

Découpage

La présence des nervures transversales sous le hourdis supérieur ne laissait pas beaucoup de latitude dans le découpage du tablier en voussoir. Les nervures étant espacées de 1,70 m sur l'ouvrage existant, la longueur des voussoirs a été fixée à deux espacements, soit 3,40 m environ. Les joints entre voussoirs ont été décalés par rapport aux nervures. Cette disposition a permis d'éviter les demi-nervures aux joints entre voussoirs, qui avaient posé quelques problèmes lors de la réalisation de l'ouvrage existant (demi-nervures très déformables, grande surface d'encollage générant des déconjugaisons). Elle a aussi autorisé un calepinage des voussoirs en longueurs variables et permis de rationaliser la disposition des câbles transversaux dans les nervures. Les entretoises déviateuses en



Assemblage d'un voussoir
Segment assembly

l'alignement des cellules. Cette aire comprend une aire de préstockage, sur laquelle sont réalisées les voiles de déviateurs bétonnés en 2^e phase, le stockage d'une capacité de 100 voussoirs courants et spéciaux, et une aire de chargement des voussoirs. Le stockage des voussoirs est organisé sur deux niveaux pour les voussoirs courants et un niveau pour les voussoirs spéciaux.

Une centrale à béton de 40 m³/h est implantée à l'extrémité de la voie de portique au plus près des cellules. Le béton est approvisionné au moyen d'une conduite alimentée par une pompe, puis distribué avec un bras de bétonnage de 30 m monté sur mât, qui couvre les trois cellules.

Les armatures sont assemblées dans des gabarits installés au plus près des cellules. Une grue à tour Potain H30/40 équipée d'une flèche de 55 m couvre l'aire d'assemblage des armatures et les cellules. Sa capacité de levage de 12 t permet la mise en place de cages d'armatures complètes dans les cellules, limitant ainsi au minimum l'intervention des ferrailleurs dans le cycle de préfabrication des voussoirs.

Implantation

L'usine a été installée sur un terrain de 2 ha situé en rive droite de la Dordogne en amont de l'ouvrage existant. La voie de portique est implantée perpendiculairement à la rive permettant le chargement des voussoirs sur barge par une estacade.

Ce terrain avait accueilli, 25 ans auparavant, l'usine de préfabrication de l'ouvrage existant. Sa configuration était similaire à celle adoptée pour le nouveau viaduc, ainsi les cellules, le stockage et l'estacade ont été implantés au même endroit.

Construction du tablier

Principe de pose

Le tablier est réalisé fléau par fléau, lesquels sont clavés ensuite les uns aux autres. Chaque fléau est construit en encorbellements successifs par assemblage des voussoirs préfabriqués. Le principe de pose est le suivant :

- ◆ un voussoir est acheminé à terre ou en rivière jusqu'à portée de la grue de pose;
- ◆ il est alors pris en charge par la grue au moyen d'un palonnier, puis levé jusqu'à sa position définitive;
- ◆ le voussoir est ensuite assemblé à l'extrémité du fléau par encollage et brêlage au moyen de six barres diamètre 36 mm;
- ◆ lorsque deux voussoirs ont été assemblés au fléau, un à chaque extrémité, ils sont précontraints par deux câbles 19T15, un par âme.

Matériel de pose

Le choix des engins de pose a été dicté par plusieurs paramètres :

- ◆ les charges à lever. Les voussoirs courants ont

un poids unitaire variant de 75 t à 110 t. Les demi-VSP ont un poids de 95 t pour les fléaux à terre et 140 t pour les fléaux en rivière;

- ◆ les conditions de site. Bien que situé loin de la mer à l'intérieur des terres, le chantier garde un caractère marin. En effet, la Dordogne au franchissement de l'autoroute est soumise à l'influence des marées et, en période de vives-eaux, le marnage peut atteindre 5 m. Ainsi s'est posé le problème des moyens à utiliser – terrestres ou nautiques – pour la pose des voussoirs situés au-dessus des rives dans la zone de marnage;

Après examen de ces critères, le choix s'est porté sur les matériels suivants :

- ◆ une grue pour la pose des voussoirs à terre en rive droite. C'est une grue à chenilles Demag CC1400 avec *superlift* de 80 et 120 t. La grue est équipée d'une flèche de 48 m ou 66 m selon la hauteur des fléaux à réaliser. Elle peut lever des charges de 150 t à 14 m de portée ou de 200 t à 10 m. Elle permet la pose d'un voussoir sur pile (VSP) complet après assemblage des deux demi-VSP au sol;

- ◆ une grue pour la pose des voussoirs à terre en rive gauche. C'est une grue à chenilles Demag CC2800 sans *superlift*. La grue est équipée d'une flèche de 66 m. La grue CC1400, installée sur une estacade en rive gauche, assure le déchargement des voussoirs. Les grues de pose évoluent sur une piste située à l'aval de l'ouvrage en construction et parallèle à celui-ci. Pendant la construction d'un fléau, la grue se déplace d'une extrémité à l'autre pour poser les paires de voussoirs;

- ◆ une grue sur barge pour la pose des voussoirs en rivière. La grue CC2800, équipée de *superlift* de 200 et 300 t est installée à poste fixe sur une barge (Fairalp) de 90 m x 27 m. La barge est équipée de huit treuils de papillonnage de 20 t. Elle peut s'équilibrer au moyen de réservoirs de ballastage. Dans cette configuration, la grue a une capacité de levage de 330 t à 20 m ou 150 t à 46 m. Cette capacité de levage permet :

- la pose des VSP complets après assemblage des deux demi-VSP sur la barge ainsi que celle des voussoirs d'extrémité des fléaux situés au-dessus des rives et inaccessibles depuis la terre.

Transport des voussoirs

La réalisation des trois parties du tablier – fléaux en rivière, à terre en rive droite et en rive gauche – nécessite des moyens différents pour acheminer les voussoirs jusqu'aux engins de pose. L'usine de préfabrication étant située à proximité des fléaux à terre en rive droite, les voussoirs sont directement acheminés avec un fardier multiroue Cometto.

Pour les fléaux en rivière, les voussoirs sont chargés sur un ponton de 15 m x 18 m, constitué de caissons assemblables CMR. Le ponton est chargé directement par le portique évoluant sur l'estacade installée à l'extrémité de l'aire de stockage.



Pose d'un voussoir - Fléau à terre

Placing a segment - Beam on land

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Fondations à terre

- Béton : 1 780 m³
- Armatures : 115 t

Fondations en rivière

- Béton pour pieux : 2 405 m³
- Béton pour bouchon immergé : 2 320 m³
- Armatures : 225 t

Piles à terre

- Coffrages : 3 120 m²
- Béton : 2 435 m³
- Armatures : 275 t

Piles en rivière

- Coffrages : 5 060 m²
- Béton : 4 950 m³
- Armatures : 605 t

Tablier

- Coffrages : 58 000 m²
- Béton : 13 400 m³
- Armatures passives : 2 000 t
- Armatures actives : 665 t

Coût des travaux

Environ 180 000 000 F HT base janvier 1998



Clouage
d'un VSP à terre

Nailing
a pier segment
on land

Assemblage
d'un VSP sur la barge

Assembly of a pier
segment on barge



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage général

ASF (Autoroutes du Sud de la France)
- Direction d'Exploitation représentée par la direction régionale d'Exploitation de Niort

Maitre d'ouvrage particulier viaducs ASF

La direction de la Construction représentée par la direction d'Opérations de Bordeaux

Maîtrise d'œuvre particulière viaduc neuf

Setec TPI

Architecte

Ph. Fraleu

Coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé

Société Presents

Groupement d'entreprises

Campenon Bernard SGE (mandataire)
- Quillery

Sous-traitants et fournisseurs principaux

- Etudes d'exécution : Secoa

Fondations :

- à terre en rive droite : Botte BTP
- à terre en rive gauche : Presspali
- en rivière : groupement GTM (mandataire) - EMCC - Balineau
- Béton : Unibéton
- Ferrailage : Nouharet
- Précontrainte : Freyssinet

Superstructures :

- appareils d'appuis et joints de chaussée : Cipec
- BN4 : Rousseau
- Corniches caniveaux : Pont équipement



Le ponton est déplacé avec un remorqueur Multicat de 700 CV.

Pour les fléaux en rive gauche, les voussoirs utilisent le même ponton. Ils sont déchargés à la grue installée sur une estacade en rive gauche et acheminés par la piste avec le fardier multiroue.

Cinématique de réalisation du tablier

Le tablier est réalisé en trois phases distinctes :

- ◆ construction des cinq fléaux à terre en rive droite ;
- ◆ transfert des matériels et construction des cinq fléaux à terre en rive gauche ;
- ◆ construction des six fléaux en rivière.

Cette cinématique présente les avantages suivants :

- ◆ tous les fléaux à terre, dont les voussoirs ont une hauteur constante, sont construits avant les fléaux en rivière, dont les voussoirs ont une hauteur variable. Cela a permis de rationaliser la préfabrication des voussoirs scindée en deux phases distinctes ;
- ◆ la construction du tablier s'achevant par les fléaux en rivière, la réalisation de leurs appuis a bénéficié d'un délai maximal. Ce délai était nécessaire pour respecter les impératifs de travail en Dordogne.

cié d'un délai maximal. Ce délai était nécessaire pour respecter les impératifs de travail en Dordogne.

Stabilisation des fléaux

Par souci d'harmonisation avec l'ouvrage existant, les piles du projet sont étroites – 2,20 m à terre et 3,60 m en rivière. L'exiguïté des têtes de pile a sérieusement compliqué leur aménagement en phase de construction. Ainsi, il était impossible de loger à la fois les appuis définitifs, les cales de stabilité provisoires et les vérins pour la substitution d'appuis. De plus, l'entraxe entre les cales de stabilité est faible : 1,10 m pour les fléaux à terre et 2,70 m pour les fléaux en rivière. Compte tenu du cas de charge dimensionnant – chute d'un voussoir de 75 t en extrémité de fléau – les efforts de clouage et les réactions sur les cales de stabilité sont très élevés.

Pour les fléaux en rivière, les réactions sur les cales de stabilité atteignent 3600 t (ELS) par cale. Chaque cale est constituée de trois boîtes de 700 x 700 mm d'une capacité de 1200 t. A terre, chaque cale est soumise à 1200 t (ELS) et est constituée de quatre boîtes à sable de 450 x 450 mm d'une capacité de 300 t. Ces boîtes ont été conçues et utilisées sur les chantiers du viaduc de Kwai Chung et du pont Vasco de Gama. Les boîtes sont comprimées en atelier avant mise en place. Les tassements résiduels sous charge sont ainsi réduits au minimum, permettant de mieux contrôler la géométrie du tablier.

Chaque fléau en rivière est stabilisé en phase de construction par un clouage vertical constitué de 12 câbles en unités 19T15, 22T15 et 27T15.

A cause du faible entraxe des cales, il était impossible de stabiliser les fléaux à terre uniquement par clouage sur la tête de pile. Il a fallu ajouter un sous haubanage. La stabilité de chaque fléau à terre est assurée par le dispositif suivant :

- ◆ 4 câbles 19T15 de clouage vertical sur la tête de pile ;
- ◆ 4 haubans 19T15 ancrés en tête dans les deux premiers voussoirs courants et en pied dans la semelle.

Ce dispositif par haubanage a provoqué un mouvement de balancier des fléaux à chaque pose de voussoir (déplacement vertical de 15 cm en extrémité de fléau). Les rotations induites par ce mouvement ont été absorbées par des appuis en Néoprène fretté insérés entre la sous-face du tablier et les cales de stabilité.

Bétons

Les bétons utilisés pour la construction de l'ouvrage sont les suivants :

- ◆ pieux et bouchons immergés : B25 ;
- ◆ semelles, piles et culées : B35 ;
- ◆ tablier : B45 ;
- ◆ bétons de superstructures : B35 G + S.



Haubanage d'un fléau à terre
Cable staying of beam on land



Grue Demag CC2800
sur barge
Demag CC2800 crane
on barge

Une centrale BPE de secours a également été mobilisée en fonction des besoins du chantier. Un programme de prélèvement quotidien sur l'ensemble des bétonnages réalisés ainsi que la mise en œuvre d'un processus de suivi maturométrique pour le béton du tablier, ont permis de s'assurer de la conformité des bétons fabriqués et de permettre, au moment adéquat, le décoffrage des voussoirs.

Organisation des contrôles

Le plan de contrôle s'est décomposé de la manière suivante :

- ◆ le contrôle intérieur à l'entrepreneur dont les modalités de fonctionnement sont définies dans le plan d'assurance qualité établi par l'entrepreneur;
- ◆ le contrôle extérieur à l'entrepreneur exercé par le maître d'œuvre pour ce qui concerne les travaux et les études d'exécution.

Dans le cadre du contrôle extérieur des travaux, le maître d'œuvre est assisté par :

- ◆ la société FIT pour la topographie ;
- ◆ la société Scetauroute DGM pour les techniques de génie civil.

Le maître d'œuvre a établi un plan de contrôle défini dans le cadre de son propre plan d'assurance qualité.

Le contrôle des études d'exécution a été assuré sur le chantier par deux ingénieurs de Setec TPI. Le contrôle extérieur des travaux est assuré par un ou deux techniciens selon les phases de chantier ainsi que par un ou deux ingénieurs selon les contrôles à effectuer.

ABSTRACT

A10 - The Dordogne viaduct

J.-M. Jaeger, S. Nuñez, J.-J. Bianchi, D. Primault

The new viaduct over the Dordogne, built on behalf of operator ASF (Autoroute du Sud de la France), is the main link in the upgrading to dual two-lane carriageway status of the Lormont - Virsac section of the A 10 motorway north of Bordeaux.

This viaduct, 1174,35 m long, has 17 sections varying between 95 m in the river and 41 m on land.

It crosses the Dordogne while offering a navigation clearance 60 m long and

26 m high in relation to the downstream minimum water level. The viaduct is supported by 16 piers, six of which are in the river. The piers range in height from 4,50 m to 26,30 m and are all founded on bored piles of 1,50 m diameter on land and 2 m diameter in the river. It is composed of 355 segments pre-cast on shore. The segments are placed by a crane on land and in the river. The contracting agency is Setec TPI. The viaduct is built by the Campenon Bernard SGE - Quillery consortium. The contract calls for completion in 23 months.

RESUMEN ESPAÑOL

Autopista A 10 - El viaducto del río Dordogne

J.-M. Jaeger, S. Nuñez, J.-J. Bianchi y D. Primault

El nuevo viaducto del río Dordogne, construido por cuenta de "Autoroutes du Sud de la France" (Autopistas del Sur de Francia), constituye el eslabón principal de la ampliación a 2 x 3 carriles de tráfico rodado de la sección Lormont - Virsac, de la autopista A 10 por el norte de Burdeos. Este viaducto, de una longitud de 1174,35 m, consta de 17 tramos que oscilan entre 95 m en el río y 41 m en tierra.

Este viaducto salva el río Dordogne y permite un gálibo de gran navegación

de 60 m de longitud y 26 m de altura con respecto al caudal de estiaje. El viaducto toma apoyo sobre 16 pilares, 6 de los cuales en el río. Los pilares, de una altura que oscila entre 4,50 m y 26,30 m tienen su fundación en apoyo de pilotes perforados de 1,50 m de diámetro en tierra y 2 m de diámetro en el río. La dirección de las obras corre a cargo de Setec TPI. La construcción del viaducto ha sido encargada al grupo Campenon Bernard SGE - Quillery y el plazo contractual de acabado es de 23 meses.

Le pont-avion C15 de l'aéroport Charles sur l'A1

L'ouvrage aéronautique C15 s'inscrit dans le projet de réalisation de la piste n° 3 de l'aéroport Charles de Gaulle à Roissy.

Il permet le franchissement de l'autoroute A 1 dans la zone de freinage maximum des avions à l'atterrissage, ce qui le distingue des classiques ponts "taxi-way". De ce fait, il existe des contraintes d'environnement à la fois liées à la présence des voies d'autoroute en circulation et à la proximité de la piste n° 1 de l'aéroport en exploitation.

Ce sont les différents basculements des voies d'autoroute qui déterminent le phasage des travaux, en gardant toujours le schéma de deux voies sur trois en circulation, contre une voie neutralisée pour la construction de l'ouvrage. Les fortes contraintes techniques dues aux sollicitations de l'ouvrage par les avions sont résolues par une très grande densité de précontrainte, longitudinale et transversale, et par des systèmes d'appuis mobiles complexes.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

La création d'une nouvelle piste (n° 3) sur l'aéroport Charles de Gaulle à Roissy nécessite la réalisation de différents ouvrages, à savoir :

- ◆ la piste aéronautique et ses voies de circulation;
- ◆ un ouvrage d'art aéronautique C15 assurant le franchissement de l'autoroute A1 par la piste 3;
- ◆ un ouvrage d'art aéronautique C24 pour permettre le franchissement de la Ligne Grande Vitesse (LGV) de la SNCF par la piste 1 prolongée;
- ◆ un ouvrage d'art routier A24 pour permettre le franchissement Ligne Grande Vitesse (LGV) de la SNCF par la route périphérique nord déviée.

■ DESCRIPTION DE L'OUVRAGE D'ART AÉRONAUTIQUE C15

Cet ouvrage d'art mesure 232 m dans l'axe de l'autoroute A1 sur 68 m dans l'axe de la piste 3, avec un gabarit routier sous ouvrage de 5,6 m. Il est constitué d'un tablier dalle d'épaisseur moyenne 1,10 m en béton B50 précontraint par post-tension dans les deux directions, reposant à chaque extrémité sur une culée-voile et aux appuis intermédiaires sur deux files de 62 piles métalliques. Il se prolonge au sud par des paralumes faisant la liaison avec le pont D14 existant.

■ CONTRAINTES LIÉES AU SITE

L'implantation du chantier dans l'enceinte d'un aéroport en activité apporte des contraintes particulières et des obligations que chaque intervenant s'est engagé à respecter afin de limiter les nui-

sances susceptibles de gêner le trafic et l'exploitation du site. Le trafic autoroutier devant être maintenu pendant toute la durée du chantier, sans travaux au dessus des voies en service, la réalisation du tablier de l'ouvrage d'art C15 se fait en trois phases successives séparées par les périodes de basculement de circulation.

Durant la première phase (A), la partie ouest du tablier a été construite sans modification des voies de circulation d'origine de l'autoroute A1. La route périphérique nord existante a été déviée vers la RN17 pour permettre de créer la déviation provisoire des voies Paris-Lille de l'autoroute A1 après construction de la phase A.

En fin de première phase, la circulation Paris-Lille bascule donc sur cette nouvelle voie à l'ouest, et la circulation Lille-Paris bascule sur la voie centrale (ancienne Paris-Lille). La chaussée est ainsi libérée à l'est pour la construction de la phase B du tablier.

Pour permettre d'achever le tablier en phase centrale C, la circulation Lille-Paris est de nouveau basculée sur sa voie d'origine, la circulation Paris-Lille restant encore provisoirement sous la partie du tablier phase A.

Une fois le chantier achevé, le tracé initial des voies d'autoroute est totalement rétabli.

Les accès de secours autoroute situés à l'intérieur de l'emprise du chantier doivent être maintenus en permanence dans toutes les phases de construction y compris pendant les phases de déviation.

■ CONTRAINTES TECHNIQUES

Les études d'exécution

L'ouvrage est calculé pour les futurs gros porteurs aériens (640 t au lieu de 400 pour les plus gros actuels). Cela se traduit – bien que les portées des trois travées soient relativement modestes (de 23 m à 19 m à l'ouest - 17,50 m au centre - 19 m à l'est) –, par un tablier dont l'épaisseur varie de 1,00 m (sous les accotements) à 1,44 m (sous l'axe de la piste) et qui est fortement précontraint longitudinalement et transversalement.

L'axe de la piste 3 n'est pas perpendiculaire à l'axe de l'autoroute A1, alors que les culées-voiles et les files de piles lui sont sensiblement parallèles. Il en résulte que les extrémités du tablier sont biaisées, ce qui impose une précontrainte longitudinale rayonnante difficile à calculer et à mettre en œuvre.

L'ouvrage C15 est situé au tiers environ de la

Dalle phase A en cours de bétonnage

Slab in phase A during concreting



© Photo Alex Béraud

pour la piste 3 de Gaulle à Roissy

Jean-Marc Combeau
DIRECTEUR DU CHANTIER
GTM Construction

Florence Gautron
INGÉNIEUR STAGIAIRE
GTM Construction

Bernard Jallat
DIRECTEUR DES TRAVAUX
Fougerolle Borie

longueur de la piste, essentiellement destinée aux atterrissages, c'est-à-dire dans la zone de freinage maximum des avions qui se posent. Le tablier étant d'une seule pièce, cela nécessite la conception, la fabrication et la mise en œuvre d'appareils d'appuis et de joints de chaussée adaptés aux charges et aux déplacements exceptionnels de cet ouvrage.

Cet ouvrage d'art a la particularité d'être plus long transversalement (axe autoroute) que longitudinalement (axe piste). Le tablier peut donc subir, outre les déplacements longitudinaux liés au freinage des avions, des modifications de sa dimension transversale non négligeables (jusqu'à 9 cm à chaque extrémité pour une longueur totale de 232 m), essentiellement d'origine thermique. Ceci nécessite d'autoriser les déplacements sur les appareils d'appuis de culée dans les deux sens, et sur les appuis des piles dans le sens transversal (appuis glissants). Les joints de chaussée entre le tablier et le mur garde-grève doivent également être conçus pour respecter ces contraintes particulières. Chaque phase de construction du tablier doit être précontrainte longitudinalement avant décoffrage. Les précontraintes de continuité n'interviennent qu'en fin de chantier.

■ CONSTITUTION DE L'OUVRAGE

Les fondations profondes

Les 124 piles espacées de 3,60 m et les poteaux des paralumes sont fondés sur des barrettes individuelles de 2,20 x 0,80 m et les culées-voiles sur des barrettes de 4,00 x 0,80 m espacées de 7,20 m. La profondeur moyenne des barrettes est de 18 m. Une cavité importante (300 m³ environ) a été rencontrée en fond de forage dans la partie nord des barrettes de culées Est. Elle a été remplie en bentonite-ciment ainsi que les barrettes en cours de forage, et les barrettes intermédiaires ont été forées sous bentonite-ciment par sécurité pour être reforées ensuite avant bétonnage.

Les semelles

Si chaque barrette de poteau de paralume est reprise par une semelle individuelle, les barrettes des deux files de piles sont reprises par une semelle continue de 2,20 m de large et 1,00 m d'épaisseur. Les culées-voiles sont également sur semelles continues de 4,00 m de large et 1,00 m d'épaisseur.



Dalle phase A
après décoffrage
*Slab in phase A
after removal
of formwork*

© Photo Alex Béraud

Les culées-voiles

L'épaisseur des voiles est de 1,00 m minimum mais leur parement avant est architecturé pour donner un effet de planches décalées de 4 cm (matrice Néoprène). Les voiles comportent en partie haute du parement arrière des corbeaux de 1,00 m d'épaisseur qui servent à supporter des dalles de transition de 7,00 m de large et 0,50 m d'épaisseur. La hauteur des voiles est variable de 6,20 m à 7,01 m, d'une part pour compenser la pente générale nord-sud des semelles (0,3 % pour suivre la pente de l'autoroute) et d'autre part pour suivre la sous-face "en toit" du tablier (0,3 % vers le nord et 1 % vers le sud) correspondant aux pentes transversales de la piste.

Il y a deux joints de dilatation équipés de bandes d'arrêt d'eau sur les 230 m de longueur de chaque culée. Les culées-voiles ont été réalisées au moyen d'un coffrage sur portique (Simpra), qui permettait de couler un plot par jour.

Les remblais des blocs techniques

Les blocs techniques sont composés d'un massif de matériaux drainants s'appuyant sur un noyau en sable traité, au contact de l'étanchéité arrière des culées-voiles pour limiter la poussée hydrostatique des remblais.

Les piles métalliques

Les piles sont constituées de fûts métalliques pleins de 310 mm de diamètre surmontés de chapiteaux recevant les dispositifs d'appuis fixes (sous piste) ou glissants (extrémités nord et sud) (figure 1). La liaison avec la semelle se fait par l'intermédiaire de platines à goussets.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Coffrages-outils de culées et de dalle (Simpra)

- Tablier : 13 928 m² de coffrage horizontal réalisés sur outil coffrant roulant
- Culées : 8 150 m² de coffrage vertical réalisés avec outil coffrant sous portique roulant

Fourniture et mise en place des armatures passives (Nouharet)

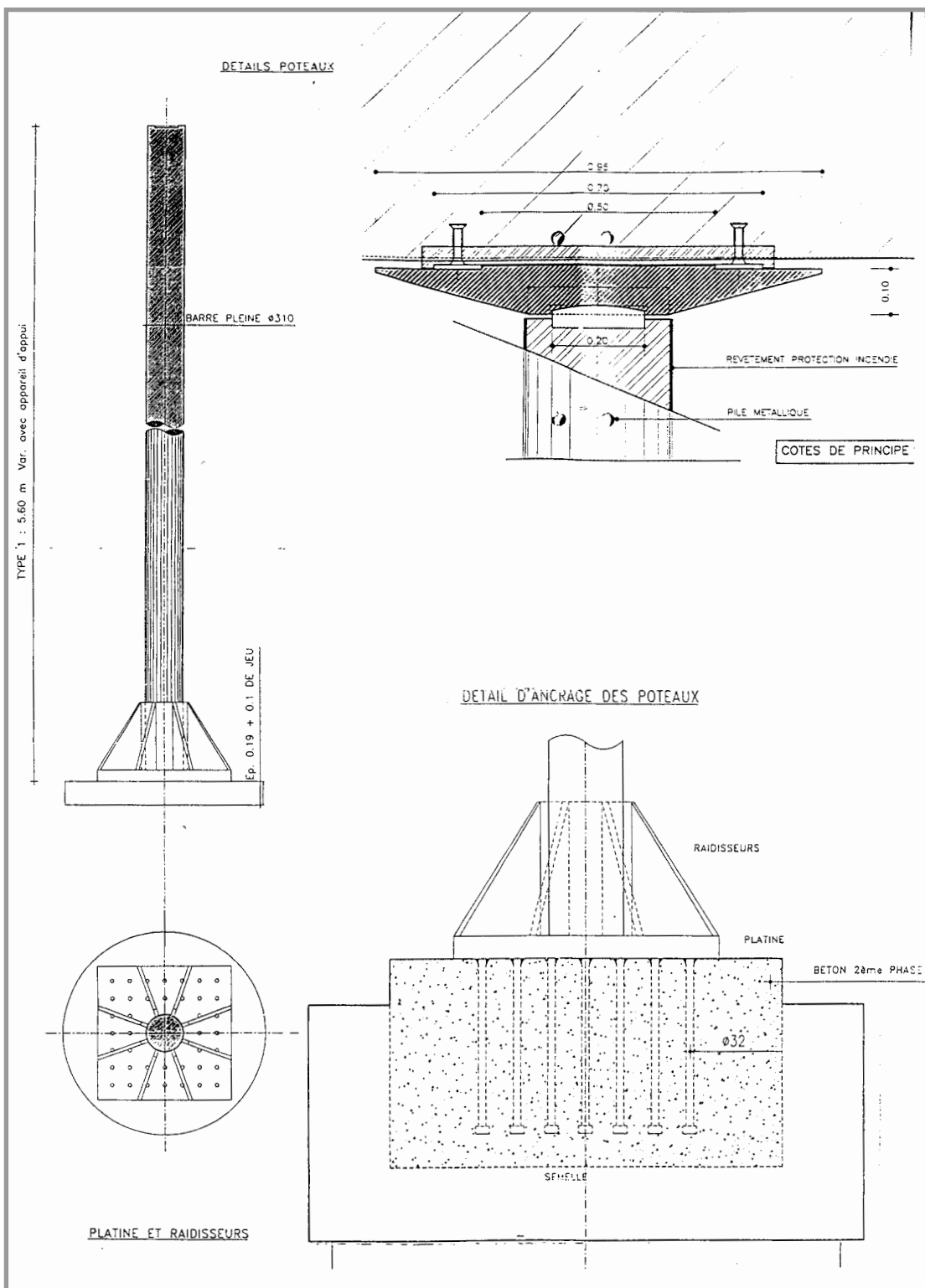
- Tablier : 1 348 t
- Culées : 492 t

Béton prêt à l'emploi (Béton de Paris)

- Tablier : 14 040 m³ de B50
- Culées : 3 781 m³ de B40
- Dalles de transition : 1 700 m³ de B30

Fourniture et mise en œuvre de la précontrainte (GTM Construction)

- 745 t pour le tablier (précontrainte longitudinale et transversale confondues), soit 53 kg/m³
- 25 km de câbles longitudinaux 19T15 et 10 km de câbles transversaux 12T15
- 277 coupleurs 19T15 (Freysinnet)



Détails des piles métalliques
Details of steel piers

Les appareils d'appuis sur culées

Seule la culée Est reprend les efforts de freinage longitudinal. Le déplacement du tablier au niveau de la culée Est est donc bloqué dans ce sens. Les appareils d'appuis de la culée Est sont de deux types : fixes en zone centrale et unidirectionnels transversaux de part et d'autre (figure 2).

Sur la culée ouest, les appareils d'appuis sont soit unidirectionnels longitudinaux au centre, soit multidirectionnel de part et d'autre.

Quel que soit l'appareil d'appui, les mouvements en rotation autour d'un axe horizontal quelconque sont permis par la déformabilité d'un disque en élastomère, tandis que les mouvements de trans-

lation horizontale sont obtenus par l'accouplement de deux surfaces plates dont l'une des deux est revêtue d'acier inox et l'autre de PTFE alvéolé.

Les appareils d'appuis sont au nombre de 62 sur chaque culée, avec la répartition suivante :

- ◆ 2 appuis fixes ;
- ◆ 2 appuis monodirectionnels longitudinaux ;
- ◆ 60 appuis monodirectionnels transversaux ;
- ◆ 60 appuis multidirectionnels.

Le tablier

Le tablier est coulé en trois phases de 230 m : A (ouest), B (est), et C (centre) parallèles à l'axe de l'autoroute. Chaque phase est elle-même divisée en neuf plots coulés les uns après les autres. Les plots 2 à 8 (plots courants) de chaque phase sont rectangulaires (hormis la surlargeur en biais au niveau de la culée ouest en phase A), tandis que les plots 1 et 9 sont trapézoïdaux (figure 3). A ces derniers plots sont de plus rattachés les porte-à-faux nord et sud. L'outil coffrant utilisé pour la réalisation du tablier a la largeur d'un plot courant. Le coffrage pour les plots 1 et 9 est donc complété par des plateaux complémentaires fixés sur tours d'étaie classiques.

Les phases A et B reposent à la fois sur culée et piles. L'outil coffrant assurant le coffrage entre la culée et l'axe des piles est complété pour ces phases par un outil permettant de coffrer les encorbellements au-delà de l'axe des piles. La phase C, au contraire, est beaucoup moins large (13 m) et seul l'outil coffrant principal, réduit, est nécessaire.

La réalisation d'un plot de tablier en phase A ou B se déroule de la façon suivante :

- ◆ mise en place des outils coffrants, éventuellement des compléments de coffrage, mise en place des chapiteaux de piles ;
 - ◆ ferrailage du plot incluant les gaines de précontrainte ;
 - ◆ coffrage des joues ;
 - ◆ enfilage des câbles de précontrainte longitudinale (19T15) ;
 - ◆ bétonnage du plot ;
 - ◆ mise en tension des câbles de précontrainte longitudinale de continuité à 20 MPa ;
 - ◆ décoffrage du plot et déplacement des outils coffrants ;
- La durée moyenne d'un cycle est d'une semaine. Le cycle en phase C est légèrement différent :
- ◆ mise en place de l'outil coffrant ;
 - ◆ ferrailage du plot incluant les gaines de précontrainte ;
 - ◆ enfilage des câbles de précontrainte longitudinale alternativement depuis la culée ouest (phase A) ou depuis la culée est (phase B) et mise en place des coupleurs ;
 - ◆ fin du ferrailage ;
 - ◆ coffrage des joues ;
 - ◆ bétonnage du plot ;

- ◆ mise en tension des câbles de précontrainte longitudinale de continuité (19T15);
- ◆ décoffrage du plot et déplacement de l'outil coffrant.

La durée moyenne d'un cycle reste d'une semaine en phase C, en raison de la simplification du coffrage (ni piles, ni culées) qui compense la complexité de la mise en place des coupleurs.

Pour chaque phase s'ajoute une tâche supplémentaire tous les trois plots, qui consiste à réaliser la précontrainte transversale partielle 12T15 des plots trois par trois (1, 2, 3 puis 4, 5, 6 puis 7, 8, 9). En fin de phase, la précontrainte transversale est complétée par la mise en œuvre de câbles de continuité 12T15.

Les encorbellements nord et sud constituent un travail de coffrage et de ferrailage plus important; les plots 1 et 9 sont donc beaucoup plus longs à réaliser que les plots courants quelle que soit la phase.

Les paralumes

L'ouvrage d'art D14 existant, qui permet le franchissement de l'autoroute A1 par la piste 1 de l'aéroport, est prolongé au nord par des paralumes (caissons de ventelles métalliques disposées à hauteur du tablier pour atténuer la différence de luminosité pour les automobilistes entrant sous l'ouvrage). La prolongation de ces paralumes jusqu'à l'ouvrage C15 fait partie du marché.

Les joints de chaussée

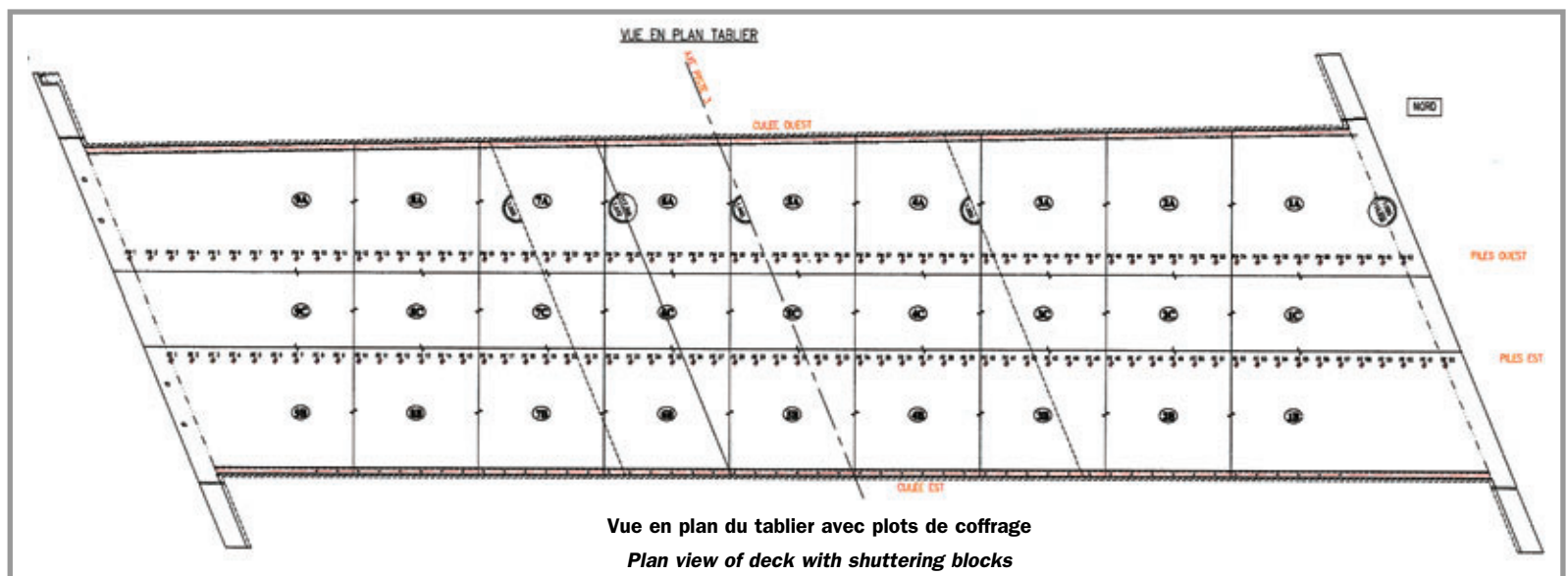
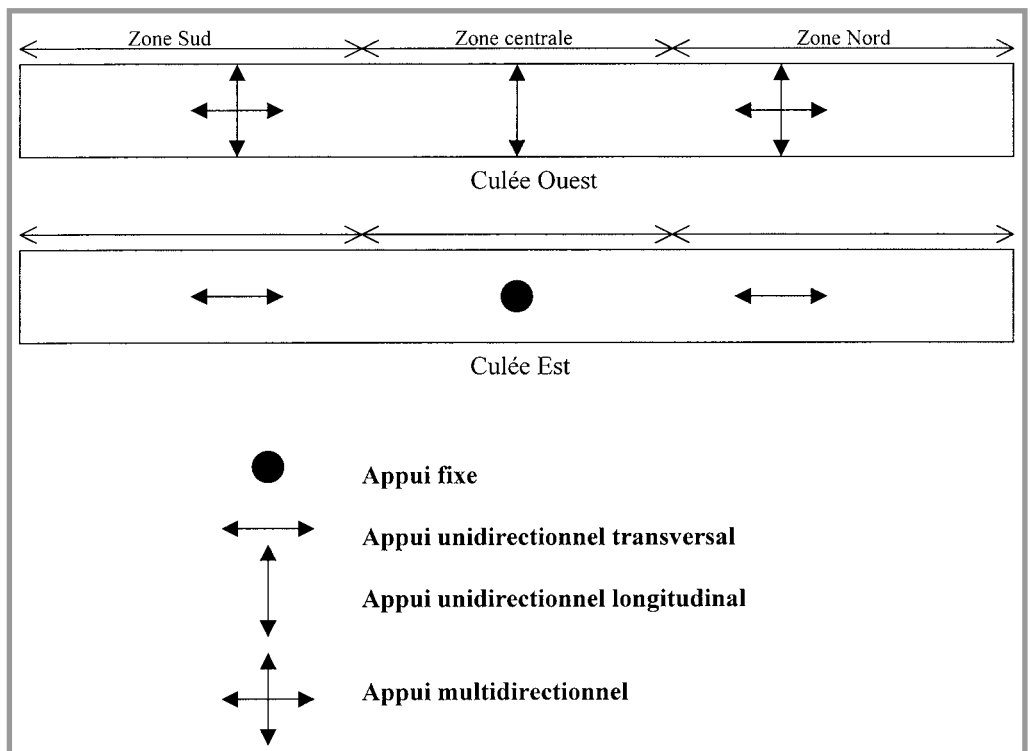
On distingue deux types de joints, fixés entre le tablier et le mur garde-grève. Des joints de type "peigne", à fixation par tiges précontraintes sont prévus au niveau de la piste proprement dite, au centre, tandis que des joints "à plaques glissantes" à fixation par tiges précontraintes seront placés de



Vue générale du chantier
General view of site

© Photo Alex Béraud

Appareils d'appui sur culées (différents types)
Bearings on abutments (different types)



Vue en plan du tablier avec plots de coffrage
Plan view of deck with shuttering blocks

part et d'autre de la piste. Les joints de piste doivent à la fois résister à de très fortes charges, à de nombreux passages, et accepter des déplacements transversaux importants (dilatation du tablier).

L'étanchéité

L'étanchéité des culées est assurée par un complexe composé d'une feuille préfabriquée à base d'élastomère bitume SBS armé d'un géotextile polyester non tissé revêtu à la face inférieure d'un film polyester.

L'étanchéité du tablier est constituée par un système bitume élastomère adhérent. Elle est protégée par des enrobés de deux types : une couche de roulement de 6 cm d'épaisseur, en enrobé spécial à granulométrie discontinue 0/14 et liant bitume élastomère, est appliquée en zone de piste tandis que les accotements sont protégés par une couche de BB 0/10.

Les V.R.D.

La réalisation de la chaussée sous la partie ouest du tablier fait partie du marché, ainsi que celle des accès Sanef. Après travaux en phases B et C, la chaussée existante de l'autoroute est rabotée et une nouvelle couche de roulement est posée.

Mur de culée ouest
West abutment wall

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Aéroports de Paris - Direction de l'Équipement

Maitre d'œuvre

Aéroports de Paris - Service Travaux Infrastructure CDG

Bureau d'études techniques : BET GTM Construction Marseille

Groupement d'entreprises : GTM Construction (mandataire) - Fougerolle Borie

Fondations profondes : Solétanche Bachy - Botte Sade

Remblais des blocs techniques : Chantiers Modernes

Piles métalliques : Baudin Chateauneuf

Appareils d'appuis sur culées : F.I.P.

Paralumes : Acroba

V.R.D. : Routière Morin

Coffrages-outils de culées et de dalle : Simpra

ABSTRACT

A 1 - The C15 aeroplane bridge for runway 3 at Charles de Gaulle airport in Roissy over the A 1 motorway

J.-M. Combeau, F. Gautron, B. Jallat

The C15 aeroplane bridge is part of the construction project for runway 3 at the Charles de Gaulle airport in Roissy. It allows the crossing of the A 1 motorway in the maximum braking zone of landing aircraft, thus distinguishing it from conventional taxiway bridges. Consequently, there are constraints related to the presence of motorway lanes and to the proximity of runway 1 of the airport in operation. Alternate change-over of the motorway lanes determine the work phases, with two lanes out of three always kept open to traffic, and one lane closed off for bridge construction. The major technical constraints due to aircraft loads on the bridge are solved by very dense longitudinal and transverse prestressing and by complex mobile bridge bearing systems.

máximo de los aviones en fase de aterrizaje, por lo cual es totalmente distinta de los puentes convencionales de las calles de rodaje ("taxi way"). Por ello, se han tenido debidamente en cuenta los imperativos de entorno, relacionados por una parte con la presencia de los canales de la autopista en circulación y asimismo, la proximidad de la pista nº 1 del aeropuerto en fase operativa. Las diversas fases de las obras han tenido que contar con las diversas permutaciones de los canales de tráfico de la autopista, conservando siempre el esquema de dos canales de cada tres en circulación, y un tercero neutralizado para la construcción de la estructura proyectada. Los importantes imperativos técnicos derivados de las solicitaciones de la estructura por el impacto de los aviones se han tenido que resolver por una muy elevada densidad de pretensado, longitudinal y transversal, así como por sistemas de apoyos móviles complejos.



© Photo Alex Béraud

RESUMEN ESPAÑOL

Autopista A 1 - El puente para aviones C15 para la pista 3 del aeropuerto Charles de Gaulle, en Roissy, sobre la autopista A1

J.-M. Combeau, F. Gautron y B. Jallat

La estructura aeronáutica C15 corresponde al proyecto de ejecución de la pista nº 3 del aeropuerto Charles de Gaulle, en Roissy, y permite salvar la autopista A1 en la zona de frenado

La passerelle Solférino : 36^e pont de Paris

Pierre Dziuba

 INGÉNIEUR D'ÉTUDES
Eiffel Construction métallique


La passerelle Solférino réunit le sud et le nord de Paris, sur une ligne qui va de la rue de Solférino à la rue de Castiglione en passant par le jardin des Tuileries.

Située entre le pont de la Concorde et le pont Royal, la passerelle Solférino franchit les 106 m qui séparent les deux berges de la Seine entre les jardins des Tuileries et le musée d'Orsay.

Cet axe place l'ouvrage conçu par Marc Mimram dans la continuité du paysage bâti et parachève le projet de restauration et de développement des institutions culturelles du cœur de Paris.

L'ouvrage a exigé de l'entreprise Eiffel des prouesses techniques.

■ LES ÉTUDES

Géométrie de l'ouvrage

La première difficulté rencontrée a résidé dans la définition géométrique de la structure.

Les arcs

Les arcs forment la structure primaire de la passerelle. Ce sont deux doubles arcs. Ils présentent deux plans de symétrie : longitudinale et transversale. Chaque arc est inscrit dans un plan incliné. Les arcs sont constitués de deux semelles, reliées entre elles par des raidisseurs, l'ensemble formant une poutre échelle.

Semelles

Les semelles sont réalisées à partir d'un plat laminé de forte épaisseur (140 mm), chanfreinées, découpées en prenant en compte les cintres en plan et en élévation, puis cintrées en élévation pour retrouver la géométrie du projet.

Les quatre zones d'appui des arcs sont d'un type particulier :

- ◆ les arcs doubles se rejoignent pour ne plus en former qu'un seul ;
- ◆ il y a interpénétration des semelles, pour en reformer une seule dont les coupes sont particulières, d'inertie et de sections équivalentes aux deux qu'elle remplace.

Raidisseurs

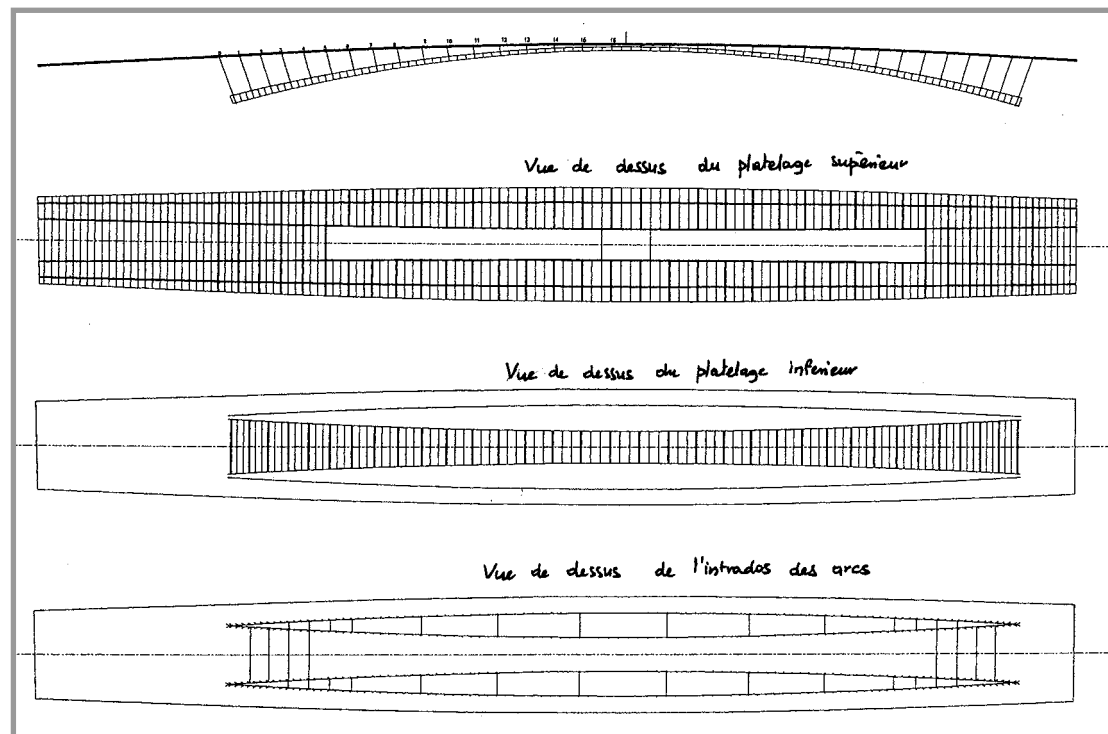
Le rythme entre raidisseurs est obtenu au moyen d'une suite arithmétique.

Un raidisseur sur trois dit raidisseur principal comporte un joint creux latéralement. Les autres dits raidisseurs secondaires comportent une saillie.

Pièces d'appui

La jonction des arcs aux culées poids est assurée par une pièce mécanosoudée ancrée par des tiges d'ancrages.

Des opérations de vérinage ont permis le contrôle



de la géométrie de la passerelle et la compensation des déplacements d'appui.

Le tablier inférieur

Entre les deux arcs intérieurs vient s'appuyer un escalier d'une géométrie très proche de celle des arcs. Il s'appuie sur des traverses soudées sur les raidisseurs d'arcs.

Traverses principales

Elles sont réalisées en caissons mécanosoudés à inertie variable fixés sur les raidisseurs principaux.

Traverses secondaires

Ce sont des profilés, en I à inertie variable.

Longerons support d'escalier

Suivant la géométrie de l'escalier, les marches, "pas-d'âne" et rampe de l'escalier sont portés par

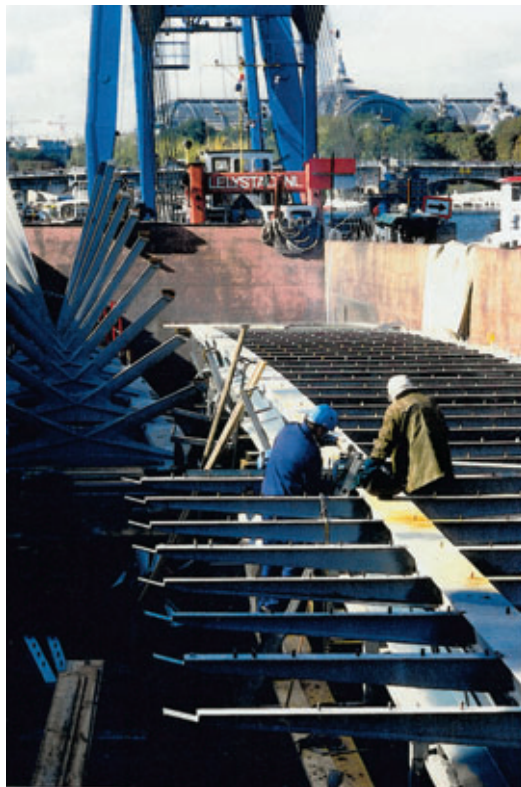
1 - Elévation. 2 - Vue de dessus du platelage supérieur. 3 - Vue de dessus du platelage inférieur. 4 - Vue de dessus de l'intrados des arcs

1 - Elevation. 2 - Top view of upper plating. 3 - Top view of lower plating. 4 - Top view of arc intrados

Levage
du tronçon central
côté amont
*Lifting
the middle section
on the upstream side*



Tronçons centraux
et de rive assemblés
dans la barge
*Middle and bank
sections
assembled in the barge*



Levage
d'un tronçon
de rive
*Lifting
a bank section*



quatre longerons en forme de T repris par des rehausses fixées sur les traverses.

Etriers en partie inférieure des arcs

Les semelles inférieures des deux arcs d'un même double-arc sont reliées entre elles par des étriers (dans la zone de chocs de bateaux puis une fois toutes les trois files).

Entre les doubles arcs, les semelles inférieures des arcs sont reliées par un 2^e type d'étriers pour résister aux chocs de bateaux.

Le tablier supérieur

Il est supporté par des éléments dits étriers et bracons et se compose de poutres longitudinales et de traverses.

Etriers et bracons

Les étriers relient les deux arcs d'un même double arc entre eux en joignant les deux semelles supérieures. La section des étriers reconstitue une pièce creuse mécanosoudée.

Les bracons permettent de liasonner les étriers au platelage supérieur, ils ont des sections elliptiques variables sur la longueur.

Poutres longitudinales

Au nombre de quatre, ce sont des caissons reconstitués soudés, trapézoïdaux; ils sont courbes en vue en plan et en élévation.

Traverses principales

L'espacement entre traverses décrit une suite arithmétique. Elles sont réalisées en caissons mécanosoudés, de section trapézoïdale, et d'inertie variable.

Traverses secondaires

Elles recoupent les espaces entre traverses en trois, suivant une suite arithmétique. Ce sont des profilés reconstitués ouverts, dont la géométrie en élévation transversale est identique à celle des traverses principales.

Les portiques

Pour porter le tablier au-dessus du quai rive droite, ou de la voie sur berge rive gauche, la passerelle comporte quatre portiques doubles, deux sur chaque berge.

Calcul de l'ouvrage

Les calculs de justifications ont été élaborés avec le logiciel HERCULE, en "discrétisant" la structure dont les sections sont variables.

Les calculs ont permis le contrôle de la structure :

- ◆ sous charges réglementaires de type surcharges piétons;
- ◆ sous chocs de bateaux;
- ◆ pour le comportement dynamique.

La stabilité de l'ouvrage a été justifiée par un calcul au second ordre et un calcul de flambement d'ensemble. Les plans d'exécution ont été réalisés sur logiciel AUTOCAD v.12.

■ LA RÉALISATION

L'information contenue sur les plans a été reprise au niveau de l'usine afin de permettre de programmer les paramètres de fabrication.

Chaque constituant élémentaire a donc fait l'objet de dessins ou de croquis permettant d'assurer :

- ◆ le débit;
- ◆ l'usinage;
- ◆ la préparation des chanfreins, etc.

La construction se poursuit ensuite par les opérations d'assemblage, de positionnement dans l'espace et la réalisation des soudures de liaison.

Montage à blanc

La présentation à blanc de deux pièces d'arc voisines afin d'en ajuster rigoureusement les éléments de liaison est capitale.

Ces opérations ont permis à l'entreprise d'ajuster les joints pour obtenir une position rigoureuse de chaque élément les uns par rapport aux autres. En suivant, les attaches provisoires de montage ont pu être réalisées garantissant aussi une bonne mise en œuvre sur site.

■ LE MONTAGE

Les contraintes principales du montage sont les suivantes :

- ◆ aires de stockage et d'assemblage très limitées sur le quai rive gauche, ayant conduit à l'utilisation d'une barge de grande longueur pour assurer l'assemblage de tronçons complets;
- ◆ contraintes de navigation (appuis intermédiaires sur pile existante, et sur pile à créer, durées d'intervention, protections provisoires).

La méthodologie

Après présellement par l'entreprise de gros œuvre des ancrages dans les culées béton, le montage s'est effectué de la manière suivante :

- 1 - Mise en place des pièces de culée sur les culées béton en interposant des vérins et après contrôle topographique des positions (ce dernier est réalisé à chaque opération essentielle);
- 2 - Assemblage des différents tronçons de doubles arcs au sol :
 - 4 tronçons de rive (de 0 à file 10) équipés des étriers et bracons,
 - 2 tronçons centraux (longueur environ 48 m) équipés des étriers, bracons et platelages;



Eventail des bracons sur étriers
Range of braces on stirrups



Tronçons de rive côté rive gauche. A droite la ligne de levage de capacité 300 t
Left bank sections. On right, 300 t capacity lifting line



Travaux d'équipement du platelage supérieur
Work on upper plating



- 3 - Montage à la bigue sur une durée prévisionnelle de six jours :
 - de chacun des tronçons latéraux,
 - puis des tronçons centraux;
- 4 - Réalisation des soudures des arcs ;
- 5 - Montage des zones de platelage à l'aide d'une grue tour localisée sur chaque rive ;
- 6 - Montage des portiques côté Anatole France et Tuileries ;
- 7 - Vérinage de compensation.



Vue d'ensemble
lors des crues de février 1999
General view in February 1999

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Portée des arcs : 106 m
- Ecartement des doubles arcs : 7,74 m
- Flèche des arcs : 7 m environ
- Largeur de la passerelle à la clé : 14,80 m environ
- Surface du platelage supérieur : 1 471 m² dont 340 m² pour les zones Anatole France et Tuileries
- Surface du platelage inférieur : 443 m²
- Tonnage : 900 t
- Poussées d'un arc double :
 - sous charges permanentes : 735 t
 - sous surcharges : 382 t soit une poussée totale de 2 234 t sur la culée béton

ABSTRACT

The Solférino footbridge : The 36th bridge of Paris

P. Dziuba

The Solférino footbridge links the south and north of Paris along a line running from rue de Solférino to rue de Castiglione, through the Jardin des Tuileries. Located between the Concorde bridge and Pont Royal, the Solférino footpath crosses the two banks of the Seine along 106 m between the Jardins des Tuileries and the Orsay museum.

This location keeps the structure, designed by Marc Mimram, in line with the surrounding built-up area and completes the project for the restoration and development of cultural institutions in the heart of Paris. The works called for the engineering prowess of the company Eiffel.

RESUMEN ESPAÑOL

La pasarela Solferino : 36 puente de París

P. Dziuba

La pasarela Solferino reúne los márgenes norte y sur de París, en una trayectoria que va de la rue de Solferino a la rue de Castiglione, pasando por el jardín de Tuileries.

Ubicada entre el puente de la Concordia y el Puente Real, la pasarela Solferino salva los 106 m que separan las dos márgenes del río Sena entre los jardines de Tuileries y el Museo de Orsay. Este eje sitúa a la estructura diseñada por Marc Mimram en la continuidad del paisaje edificado y da el toque completo al proyecto de restauración y de desarrollo de las instituciones culturales del centro de París. La estructura ha requerido verdaderas proezas técnicas por parte de la empresa Eiffel.

COMMENT OBTENIR QUE LES MARCHÉS PUBLICS DE TRAVAUX SOUTERRAINS NE SOIENT PLUS QUASI SYSTÉMATIQUEMENT ATTRIBUÉS AU MOINS DISANT ?

INTRODUCTION

“ Moins ou mieux-disant ” ? Voilà une question dont on n’est pas prêt de cesser de parler à propos du Code des marchés publics, dont la réforme tant annoncée n’en finit pas de ne pas aboutir... Nous renvoyons nos lecteurs à la série de chroniques qui lui ont été consacrées dans “ Travaux ”, des numéros 711 à 719, puis 743. Dans ce dernier numéro, Serge Rampa, Président de la Commission des marchés de la FNTP, faisait une proposition très détaillée pour la détection et l’examen des offres anormalement basses.

L’article qui suit est une contribution nouvelle à la recherche d’une réponse à la question ci-dessus, qui soit plus favorable au choix du mieux-disant. Nous le publions avec l’aimable autorisation de son auteur. Alors qu’il était directeur du Centre d’études des tunnels, Michel Marec avait donné à “Travaux” la préface du numéro 709 de mai 1995 sur les tunnels. Il préconisait déjà “d’écarter les offres trop basses, éviter les prix unitaires anormaux, trop bas ou trop élevés”, avant de conclure “qu’un grand chantier de travaux souterrains doit se mener dans le partenariat et la confiance”.

Roland Girardot
Rédacteur en Chef

Sont présentés successivement:

- Les résultats d’une enquête concernant les conditions d’attributions de marchés de travaux publics d’ouvrages d’art à l’air libre.
- Les résultats d’une enquête menée par l’AFTEs concernant les conditions d’attributions des marchés de travaux publics en souterrain.
- Les propositions de l’AFTEs.
- La situation actuelle concernant le cheminement de ces propositions.

1 - LES RÉSULTATS D’UNE ENQUÊTE CONCERNANT LES CONDITIONS D’ATTRIBUTION DE MARCHES PUBLICS D’OUVRAGES D’ART A L’AIR LIBRE.

1-1 Préambule

Dans le cadre d’une action commune du Conseil général des ponts et chaussées et de la Direction des routes, il a été lancé en 1995 au sein du Ministère chargé de l’Équipement une enquête approfondie des pratiques d’attribution des marchés de l’État pour les fournitures et les travaux. Le champ de cette enquête s’est portée sur les années 1992 à 1994, a concerné toutes les Directions départementales de l’équipement de Métropole et d’Outre-Mer et s’est limité aux seuls marchés routiers de l’État à l’exclusion donc de ceux des collectivités territoriales, sociétés d’économie mixte et établissements publics. Ont été extraites de l’enquête les statistiques concernant les ouvrages d’art de 5 millions de francs. On y trouve essentiellement des ponts courants, des murs de soutènements et quelques ponts non courants ou exceptionnels et tunnels.

1-2 Les conditions de passation

Les marchés ont été passés essentiellement sur appel d’offres ouverts et sur appels d’offres restreints :

- . Nombre de marchés = 385
- . Montant moyen = 19,57 MF T.T.C.

. Procédure de passation

Adjudication ouverte	1%
Adjudication restreinte	1%
Appel d’offres concours	0%
Appel d’offres ouvert	46%
Appel d’offres performantiel	0%
Appel d’offres restreint	50%
Marché négocié	1%

. Nombre moyen de candidats

	AO ouvert	AO restreint
Éliminés pour raisons administratives	0,26	1,23
Éliminés pour raisons techniques	0,16	5,55 (*)
Dont la soumission a été examinée	10,60	10,90

(*) élimination à la présélection

. Différence entre offre retenue et estimation

(en millions de F)	AO ouvert	AO restreint
(1) Moyenne de l'offre retenue	9,36	29,38
(2) Moyenne de l'estimation de l'administration	12,07	35,03
((1) - (2)) =	- 22 %	-16 %

Attribution au moins disant

Bien qu'il ne soit pas possible de déterminer ce que serait un pourcentage souhaitable, ces 80 % paraissent raisonnablement acceptables.

L'attribution est faite au moins disant dans 80 % des cas.

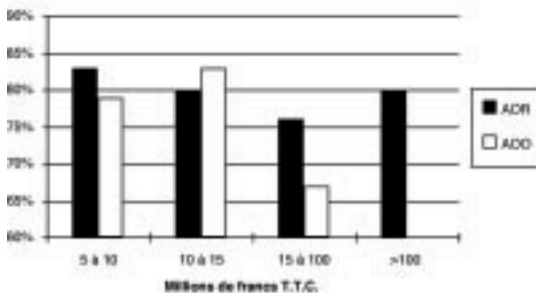


Figure 1- Pourcentage d'attribution au moins disant/montant de soumission

2 - LES RÉSULTATS DES ENQUÊTES MENÉES PAR L'AFTES SUR LES CONDITIONS D'ATTRIBUTION DES MARCHÉS DE TRAVAUX PUBLICS D'OUVRAGES SOUTERRAINS.

2-1 La grande majorité des marchés publics de travaux souterrains est attribuée au moins disant, qui n'est pas obligatoirement le mieux disant

L'AFTES dispose des données on provenance de quatre grands maîtres d'ouvrages publics (MOA). Elles n'ont pas été sélectionnées pour les besoins de la cause. Elles sont exhaustives sur les périodes concernées. Les années couvertes vont de 1984 à 1998, les marchés provenant de chaque maître d'ouvrage ne couvrant que certaines années, toujours consécutives, de la période.

Nombre d'appels d'offres analysés: 56
Nombre d'offres: 544

Nombre moyen d'offres par appel d'offres : (tous les appels d'offres étaient restreints)	9,5
Écarts par rapport à la moyenne des offres	
Estimation du maître d'ouvrage	-3,4%
Offre la plus forte	+16,7%
Offre la moins disante	-14,4%
Offre adjudicataire	-14,2%
Dispersion des offres	31,6%

Le résultat essentiel est que 54 affaires sur 56 ont été attribuées au moins disant et que le prix moyen d'attribution est inférieur de 15 % aussi bien à la moyenne des estimations qu'à la moyenne des offres reçues. Les entreprises commencent souvent l'exécution de leur marchés à perte.

On ne peut nier que le Code des Marchés Publics, qui prévoit que les affaires soient attribuées aux mieux disants, n'ait pas ici respecté dans son esprit.

2-2 Les coûts finaux des marchés sont en général en forte augmentation par rapport aux montants nominaux des marchés.

L'AFTES a pu connaître les montants définitifs de 31 marchés, qui avaient été soldés, sur 56. Cela donne les résultats suivants :

	Moyenne générale pour tous les marchés
Montants du DGD (décompte général et définitif) par rapport aux estimations	+4,8%
Montants du DGD par rapport aux montants nominaux des marchés	+18,3%

3 - CETTE SITUATION EST-ELLE NORMALE ?

L'Association Française des Travaux en Souterrain (AFTES) rassemble la plupart des partenaires intervenant dans la réalisation d'ouvrages de génie civil souterrains. Elle couvre les champs des tunnels routiers et ferroviaires ou de métro, des collecteurs et réseaux souterrains ; des galeries hydrauliques ; cavernes pour usines souterraines ou pour stockage.

Elle rassemble tous les types d'intervenants des travaux souterrains, les entreprises de travaux publics, les ingénieries, les industriels spécialisés et les grands maîtres d'ouvrage.

Les membres de l'AFTES, aussi bien maîtres d'ouvrages donc qu'entreprises, sont convaincus que cet état de fait est malsain et qu'il est nécessaire d'en sortir.

Pourquoi cela ?

Le domaine des travaux souterrains a ceci de particulier qu'il s'exerce sur des matériaux, les constituants du sous-sol, qu'on peut décrire et paramétrer qu'imparfaitement. Aussi les contrats de travaux souterrains sont susceptibles, plus que d'autres, de donner lieu à certaines incertitudes et à des réclamations des entreprises.

Il découle de ces deux faits : incertitudes inévitables sur certaines données techniques de la consultation et attribution des contrats à des prix trop bas, que les contentieux en fin de travaux sont devenus quasi systématiques. Cette situation est source d'un gros gaspillage de temps et d'énergie et ne favorise pas l'établissement de relation de travail confiantes et efficaces.

4 - COMMENT POURRAIT-ON Y REMÉDIER ?

Il apparaît illusoire de vouloir fixer par voie administrative des conditions de détection puis d'élimination d'offres trop basses.

Tous les groupes de réflexion qui se sont penchés sur la question sont arrivés à cette constatation. Ceci découle de la très grande difficulté qu'il y a à fixer un seuil précis au-dessous duquel une offre serait trop basse.

Il est apparu à l'AFTES qu'il faut donc s'organiser pour décourager l'établissement de telles offres et pour pouvoir les détecter et les écarter si elles existent.

Or la plupart des maîtres d'ouvrage n'estiment pas, ou n'estiment plus pouvoir réussir à convaincre leurs contradicteurs éventuels du bien fondé de leur choix, s'ils n'attribuent pas les contrats aux moins disants. Tout ce

qui suit a pour but de leur fournir les moyens. L'AFTES a pour cela établi des recommandations à caractère préventif et d'autres à caractère curatif.

5 - LES RECOMMANDATIONS A CARACTÈRE PRÉVENTIF

5-1 Il faut responsabiliser le maître d'oeuvre sur toute la durée du processus de conception puis de réalisation de l'ouvrage

Le MOE (maître d'oeuvre) de conception doit participer à l'analyse des offres et signer, cosigner ou viser le rapport proposant un ou plusieurs choix d'entreprise au MOA (maître d'ouvrage).

Il est recommandé qu'il soit ensuite maître d'oeuvre d'exécution. S'il ne l'est pas, il est de même très recommandé qu'il participe aux suivis des travaux ou qu'il soit enfin associé au règlement des contentieux éventuels.

Commentaire: L'objectif est de responsabiliser le MOE en particulier lorsqu'il propose le choix d'une ou plusieurs offres au MOA. Il doit alors savoir qu'il aura à suivre l'affaire et à en répondre jusqu'à son terme.

Il faut pour cela bien différencier les fonctions de MOE et de MOA. En particulier dans certaines grandes entreprises ou certains grands services publics où cela n'est pas toujours fait clairement.

Il est très souhaitable que le niveau de rémunération de MOE soit lié au respect d'un coût objectif.

Ceci paraît difficilement applicable lorsque le MOE est un Service de l'Administration et, en particulier, un Service du MOA des travaux. En effet, il ne reçoit pas alors de rémunération individualisée. Il reste que le coût d'objectif qui est fixé par le MOA doit avoir reçu son approbation explicite, ou ses réserves explicitées, avant la dévolution des travaux.

5-2 Le Règlement de consultation (RC) doit être précis et complet

Ce document doit permettre à l'entrepreneur de bien comprendre comment doivent être présentées ses

offres, technique et financière. Les critères de jugement des offres doivent être clairement exposés.

Le RC doit de façon générale faire des demandes précises, permettant une véritable évaluation des critères de choix dans les offres des candidats.

En particulier, le RC doit préciser le niveau de détail qui est demandé concernant les modes de réalisation des prestations : moyens d'étude, moyens en matériel de chantier, moyens en hommes.

Le RC doit insister sur la nécessaire concordance que doivent présenter les moyens qu'il est prévu de mettre en oeuvre et le sous-détail des prix de l'offre. Les deux doivent être cohérents.

Le RC doit insister sur la nécessaire vraisemblance des rendements prévus. Ceux-ci ne doivent pas être arbitrairement optimisés.

5-3 L'exigence d'une garantie de bon achèvement, peut être un moyen préventif efficace de diminuer le nombre des offres anormalement basses.

Dans certains pays, dont les USA, il est habituel d'exiger des entreprises de travaux publics des garanties de bon achèvement. L'expérience américaine a montré qu'une entreprise pour laquelle la garantie a été appelée par le MOA perd toute sa réputation auprès des établissements financiers.

Mais le système ne doit pas être trop coûteux ni être dissuasif vis-à-vis des petites et moyennes entreprises (PME).

L'AFTES a retenu les orientations suivantes :

L'exigence d'une garantie de bon achèvement peut être une arme efficace pour dissuader des offres anormalement basses : c'est bien comme moyen de dissuasion préventive qu'elle peut être envisagée beaucoup plus que comme curatif.

Au vu des expériences, le montant de la garantie devrait pouvoir se limiter à 30 % de celui du marché.

Une fois la garantie mise en place, si elle est ensuite appelée à jouer, sur la demande du MOA, une difficulté peut se rencontrer; que peut-il se passer si les

conditions géotechniques sont très différentes de celles prévues au marché ? Afin que l'effet préventif de la garantie de bon achèvement joue complètement, il est nécessaire que le MOA soit seul juge de sa mise en cause éventuelle. En conséquence : la garantie doit être mise en oeuvre automatiquement sur simple demande par le MOA.

En revanche, le garant et l'entrepreneur, doivent pouvoir défendre leurs droits. Il faut que le garant ait la possibilité d'être associé à la procédure contentieuse éventuelle.

En vue de cela, il doit avoir accès à toute l'information depuis l'origine du chantier.

Commentaires: l'usage des garanties de bon achèvement est très peu répandu en France dans les marchés publics. Le groupe de travail a pris note des réticences manifestées par certaines entreprises à leur utilisation.

Aussi l'AFTES recommande que ceci se fasse dans un premier temps à titre expérimental.

6 - LES RECOMMANDATIONS A CARACTÈRE CURATIF

6-1 Il faut que le MOA et le MOE chargés de procéder à l'examen des offres ne puissent pas avoir connaissance des niveaux de prix proposés durant la phase d'examen technique

La façon la plus sûre d'y parvenir est de faire présenter les offres sous forme d'enveloppes distinctes : l'une contenant l'offre technique, l'autre contenant l'offre financière. Dans un premier temps, l'offre technique est ouverte. Après éventuelle élimination d'offres techniques insuffisantes (cf. plus loin), les offres financières correspondantes sont retournées non ouvertes à leurs expéditeurs. Le MOA ne prend donc connaissance que des offres financières correspondant aux offres techniques retenues.

Commentaires : ce procédé est souvent utilisé, avec des variantes de formes, par des bailleurs de fonds internationaux comme la Banque Mondiale.

Il présente l'inconvénient d'obliger le MOE à analyser toutes les offres

techniques et non pas uniquement les 2 ou 3 moins disantes. Mais il présente aussi l'avantage considérable d'obliger les entreprises à présenter des offres techniques bien étudiées, quel que soit le prix de leur soumission.

Par ailleurs, cette disposition nécessitera plusieurs modifications au Code des Marchés Publics : en effet, l'article 97 bis prévoit que lors de l'ouverture des plis "la Commission enregistre le contenu dans toutes les parties essentielles..." Or, il n'est pas discutable que le prix est une partie essentielle.

Il prévoit aussi que : "Au vu de ces renseignements, la personne responsable du marché choisit librement l'offre qu'elle juge la plus intéressante." On voit mal qu'elle puisse éliminer certaines offres sans en connaître le prix.

Tout en respectant le Code des Marchés Publics, on peut procéder ainsi.

La personne responsable du marché ne communique pas les montants des offres reçues au maître d'oeuvre chargé de les étudier.

Elle s'oblige ensuite volontairement à éliminer quel que soit leur niveau de prix, les offres proposées par le maître d'oeuvre comme techniquement notoirement insuffisantes et acceptées par lui-même (MOA) comme telles.

Cette procédure présente néanmoins une très relative fiabilité. Elle ne saurait avoir d'efficacité si le MOA ne respecte pas parfaitement la discipline ci-dessus. Le groupe ne pense pas qu'elle apporte une réponse suffisante au problème.

Cela dit, rien n'empêche un MOA de l'appliquer dès à présent. Cela est d'ailleurs déjà fait par certains.

6-2 Il faut analyser de façon approfondie les offres techniques.

Cela doit permettre de vérifier que les entreprises ont bien prévu les moyens matériels et humains nécessaires à la réalisation des travaux.

Le plus grand soin doit être apporté à l'appréciation de la vraisemblance des cadences de chantier prévues, au vu des moyens mis en oeuvre.

Une bonne analyse technique suppose un maître d'oeuvre suffisamment compétent et disponible, donc suffisamment rémunéré.

Il faut ici préciser que l'ensemble des présentes recommandations s'applique aussi à la sélection, par appel d'offres, des maîtres d'oeuvres.

6-3 Il faut analyser de façon approfondie les offres financières et détecter les offres anormalement basses.

Une offre anormalement basse est une offre susceptible de conduire à un résultat financier négatif pour l'entreprise, après imputation de toutes ses charges, qui aurait réalisé les ouvrages suivant les règles de l'art, si les conditions du marché ne sont pas modifiées en cours d'exécution.

L'analyse doit être particulièrement approfondie pour les 2 ou 3 offres les plus basses, lorsque leurs estimations paraissent faibles au MOA.

Le but de ce travail est, dans un premier temps, de détecter les offres, anormalement basses (ceci n'exclut pas, bien sûr, la nécessité d'approfondir l'offre financière finalement retenue, en particulier quant à sa sensibilité aux variations de quantités de natures d'ouvrages).

Aucun critère à lui seul ne saurait en général être déterminant pour pouvoir affirmer qu'une offre est anormalement basse. Plusieurs sont à examiner.

Le montant de l'offre, comparé à celui des autres offres et à l'estimation du MOA.

Dans le cas où l'on dispose d'un nombre d'offres supérieur ou égal à 7, il est possible d'établir une moyenne et un écart type. Toute offre qui se trouve à plus d'un écart-type sous la moyenne est susceptible d'être éventuellement, ce qui ne veut pas dire nécessairement, d'un prix très bas.

Ceci est d'autant plus vraisemblable si le prix moyen des offres est inférieur à l'estimation faite par le MOA.

Si une offre, en particulier la moins disante, se détache nettement de la seconde, le prix est susceptible d'être bas, sinon anormalement bas.

L'appréciation des rendements unitaires.

Tout rendement d'exécution des travaux à des cadences nettement meilleures que celles prévues à l'étude ou par les autres concurrents et non appuyé sur

des justifications solides (procédé innovant) est suspect. C'est là le principal mode d'établissement d'offres trop basses. D'autant plus redoutable en travaux souterrains que, si les rendements annoncés dans l'offre ne sont pas atteints en cours de travaux, l'entrepreneur sera tenté d'arguer de ce que le dossier géotechnique du marché ne rend finalement pas bien compte de la réalité des conditions de terrain.

La prise en compte réaliste ou non des frais d'amortissement du matériel.

Il y a là de larges marges d'appréciation, notamment suivant l'état du matériel.

Le prix de la main d'oeuvre.

Il faut vérifier tout particulièrement le respect de la législation française sur les salaires, ainsi que la prise en compte réaliste des charges correspondantes.

L'affectation des frais de chantier et des frais de siège.

Ces frais correspondent toujours à des coûts pour l'entreprise. Ils ne peuvent être éludés.

S'il est vrai qu'aucun texte ne paraît obliger l'entreprise à les imputer, à leur réelle valeur, il n'en est pas moins vrai qu'une telle pratique ne peut être qu'occasionnelle. Le MOA est fondé à considérer qu'une offre ainsi établie a des chances d'être trop basse pour que le chantier puisse se dérouler dans de bonnes conditions.

La cohérence entre l'offre technique et l'offre financière.

L'offre financière doit être le reflet valorisé par des coûts, des moyens prévus par l'offre technique.

Commentaire: tout ce qui précède doit faire l'objet de critères de choix et d'analyse à définir dans le règlement de consultation.

Élimination des offres anormalement basses.

Le Code des Marchés Publics le permet, après que la ou les entreprises concernées aient été appelées à fournir des explications, et ceci devrait être fait systématiquement. Malheureusement, dans la pratique cela n'est, en travaux souterrains, qu'exceptionnel. En effet, on est bien obligé de constater, nous l'avons

dit, que les MOA n'estiment pas voir dans ce domaine la capacité de convaincre tous leurs contradicteurs que leur choix était fondé et équitable.

En procédant conformément à ce qui est recommandé ci-dessus, le MOA se donne les moyens d'expliquer son choix et de le faire partager par les commissions compétentes.

7 - LA SITUATION ACTUELLE CONCERNANT LE CHEMINEMENT DE CES PROPOSITIONS.

Ces questions ont été débattues au sein du Ministère de l'Équipement, où les propositions faites par l'AFTES ont paru mériter une attention toute particulière.

A l'heure où ce texte est écrit, une réforme du Code des marchés publics est en cours. Il existe un document d'orientation en cours d'examen interministériel.

C'est donc maintenant que les propositions de l'AFTES doivent être examinées

*MICHEL MAREC - CONSEIL GÉNÉRAL DES
PONTS ET CHAUSSÉES -
COORDINATEUR DE LA MISSION SPÉCIALISÉE
D'INSPECTION DES OUVRAGES D'ART -
MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT
ET DES TRANSPORTS.*

ABSTRACT

The way that public markets for underground works are awarded means that nearly all markets are awarded to the company replying to the call for tender with the lowest offer, despite the fact that the French Government Procurement Code and European legislation is designed to ensure that contracts are awarded to the best offer, regardless of whether this is also the lowest. The result of this regrettable state of affairs is that market prices are often not sufficiently profitable, which leads to problems for companies when fulfilling contracts, complaints and a number of disputes. The situation is different for both public building works and above-ground works. The majority of disputes arising in underground works are due to the supposed imperfections in the geotechnical reports relating to these works. For this reason AFTES has set up a working party whose task is to make simple and sensible proposals which, if they are adopted, should allow us to turn this situation around. AFTES includes the majority of companies, design departments, industrialists and public project owners involved in underground works. It has got together to lead the thinking of the professional Federations concerned. The resulting recommendations therefore represent the opinion of the vast majority of those concerned. The recommendations which have been drawn up by the working party are both preventive and curative. Preventive in dissuading companies from making offers which are too low and not profitable, curative when helping project owners to eliminate offers with too low prices. For some of the recommendations to be applied, changes will have to be made to the Government Procurement Code. We hope that the Code changes currently being considered will allow this to happen. However, all the recommendations can already be applied in the case of all public bodies which are not subject to the Government Procurement Code, in other words government industrial and commercial bodies.

RÉSUMÉ

La pratique de l'attribution des marchés publics de travaux souterrains veut que la quasi totalité des marchés soient attribués aux entreprises qui ont présenté, après appels d'offres, les offres les plus basses. Pourtant le Code des marchés publics français et les textes européens prévoient que les contrats soient attribués aux offres les mieux disantes, qu'elles soient ou non les plus basses. Le résultat regrettable de cet état de fait est que souvent les marchés sont passés à des prix insuffisamment rémunérateurs ce qui conduit à des conditions difficiles d'exécution des contrats par les entreprises, à des dépôts de réclamations et à de nombreux contentieux. La situation n'est pas la même pour des travaux publics de bâtiments ni pour des ouvrages réalisés à l'air libre. Ce sont les imperfections supposées que sont toujours susceptibles de comporter les dossiers géotechniques des travaux souterrains, sur lesquelles reposent la majorité des contentieux propres à ceux-ci. Aussi l'AFTES a mis en place un groupe de travail chargé de présenter des propositions simples et de bon sens qui devraient permettre si elles étaient suivies de sortir de cette situation. L'AFTES regroupe la majorité des entreprises, des bureaux d'études, des industriels et des maîtres d'ouvrage publics qui réalisent des ouvrages souterrains. Elle s'est rapprochée pour mener cette réflexion des Syndicats professionnels concernés. Les recommandations qu'elle a ainsi produites représentent donc l'opinion d'une large majorité de tous les acteurs concernés. Les recommandations qui ont été élaborées par le groupe ont un caractère préventif ou curatif. Préventif lorsqu'il s'agit de dissuader les entreprises de présenter des offres trop basses, non rémunératrices ; curatif lorsqu'il s'agit d'aider le maître d'ouvrage à éliminer les offres de niveau de prix insuffisant. L'application de certaines recommandations nécessite une modification du Code des Marchés Publics. On peut espérer que les mises à jour de ce Code actuellement à l'étude permettront d'aboutir. Mais dès à présent, toutes les recommandations peuvent déjà être retenues par tous les acteurs publics non soumis au Code des Marchés Publics c'est-à-dire par les Établissements publics industriels et commerciaux.