

Travaux

n° 803

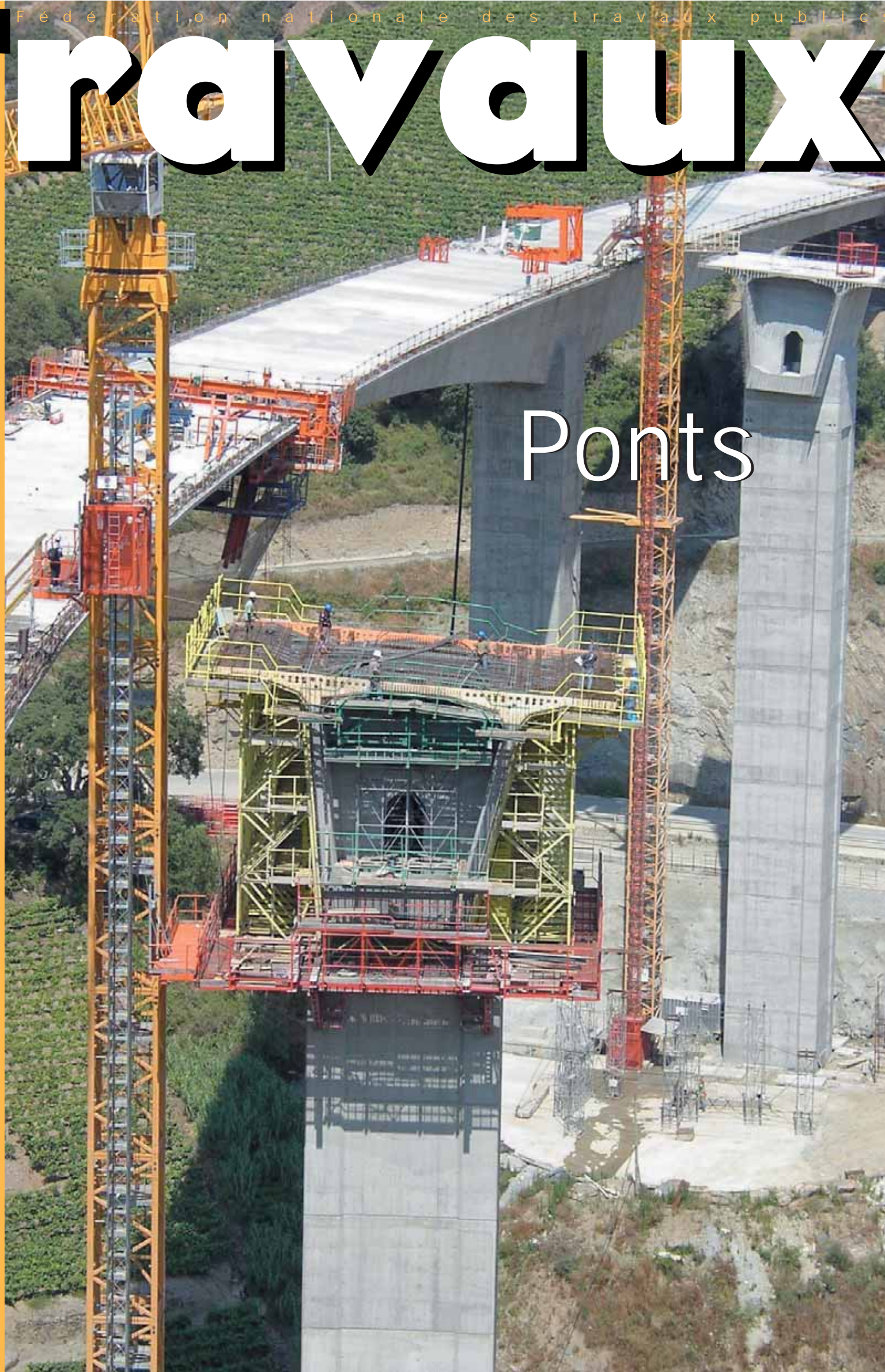
PONTS ROUTIERS

- Construction des appuis et lançage du tablier du viaduc de Millau
- Le viaduc du Lot et la tranchée couverte de La Garenne
- Un pont en arc mixte sur la Charente à Jarnac
- Le pont de Corbeil
- Le viaduc sur la Vilaine
- Reconstruction du pont sur la Drôme sur A7

PONTS-RAILS

- Les ponts-rails de Pantin

Ponts



Sommaire

Travaux
numéro 803

décembre 2003

Ponts



Notre couverture

Construction du pont
du Corgo au Portugal

© Norinter

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

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

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

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

VENTES ET ABONNEMENTS

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

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

MAQUETTE

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

PUBLICITÉ

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

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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

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

Editions Science et Industrie S.A.
3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

8

techniques
et matériaux

14

matériels

15

PRÉFACE

Michel Virlogeux

19



PONTS ROUTIERS

◆ La construction des appuis et le lancement du tablier du viaduc de Millau

- Construction of supports and launching the deck for the Millau viaduct

J.-P. Martin, M. Buonomo, Cl. Servant

20



◆ Le viaduc du Lot et la tranchée couverte de La Garenne. La construction de deux ouvrages contigus

- The Lot viaduct and the La Garenne cut-and-cover. The construction of two adjacent structures

G. Briquet, J. Boutineau, P. Adier

34



◆ Un pont en arc mixte sur la Charente à Jarnac

- A composite arch bridge over the Charente at Jarnac

J.-P. Dargon, A. Valadier, J. Mac Farlane, J.-P. Grenergy, P. Dugas, M. Virlogeux

48



◆ Le pont de Corbeil

- Corbeil Bridge

Fr. Guiot

59



◆ Le viaduc sur la Vilaine. Aménagement de la rocade Est de Redon entre l'Ille-et-Vilaine et la Loire-Atlantique

- The viaduct over the Vilaine. Improvement of the bypass east of Redon between Ille-et-Vilaine and Loire-Atlantique

E. Størksen

64

◆ Reconstruction du pont sur la Drôme sur A7. Deux ans de travaux sous circulation à pleine capacité

73

Sommaire

décembre 2003

Ponts

Dans les prochains numéros

- International
- Travaux souterrains
- Tunnel de Toulon
- Routes
- Sols et fondations
- Eau
- Terrassements
- Réhabilitation d'ouvrages



- Reconstruction of the bridge over the Drôme on the A7 motorway. Two years' work under full-capacity traffic

L. Borgna, A. Rung, Ph. Barry



PONTS-RAILS

◆ Les ponts-rails de Pantin. Le remplacement de cinq ouvrages au cœur du réseau ferré à la sortie de la gare de l'Est

- The Pantin railway bridges. Replacement of five key structures in the railway network at the exit to "Gare de l'Est" railway station

J.-Cl. Gincourt, D. Keller

81

formation

88

économie

92

répertoire
des fournisseurs

95

ABONNEMENT TRAVAUX

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

5ÈS RENCONTRES GÉOSYNTHÉTIQUES	JEAN MULLER INTERNATIONAL.....18
.....3È DE COUVERTURE	JMB MÉTHODES.....6 ET 7
CIMBÉTON4È DE COUVERTURE	LAFARGE CEMENTS9
DODIN2È DE COUVERTURE	OTUA80
ENERPAC4	RICHARD DUCROS4
EXPO'COM47	SECO-RAIL AGENCE RTS.....46
HEAVEN CLIMBER.....79	SIGMA BÉTON33
HUNNEBECK FRANCE.....2	SYNDICAT PROFESSIONNEL
ICE33	DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS
IHC263
JEAN D'HUART.....15	WIRTGEN17

Ce sont quelques réalisations exceptionnelles qui assurent la réputation du génie civil français et lui donnent une des premières places dans le monde. Sans remonter jusqu'au pont de Brotonne, dont il ne faut pas sous-estimer l'importance dans le développement des structures modernes en béton, on peut aujourd'hui citer le pont de Normandie, les grands ouvrages du TGV Méditerranée – en particulier les viaducs de Ventabren et d'Avignon –, la digue semi-flottante de Monaco, le pont de Rion Antirion et le viaduc de Millau. Mais aussi les nouvelles gares du TGV, des aéroports un peu partout dans le monde, des stades dont le plus célèbre est le Stade de France et bien d'autres structures.

Ce sont les grandes entreprises – Bouygues, Eiffage et Vinci, dans l'ordre alphabétique – qui en tirent le plus grand parti en s'appuyant sur leurs compétences techniques mais aussi sur leur capacité à organiser des concessions qui assurent leur activité et leur avenir : le pont de la Confédération au Canada, le second franchissement du Tage à Lisbonne, et Rion Antirion pour Vinci ; le viaduc de Millau et des ouvrages au Portugal pour Eiffage...

Mais des entreprises plus modestes – en taille – ont su s'imposer à l'international. C'est le cas par exemple de Freyssinet dans les domaines de la précontrainte et du

haubanage, mais je pourrais aussi citer VSL et beaucoup d'autres.

Malgré la créativité et l'imagination des concepteurs français, qui ont permis la construction des grands ouvrages que j'évoque, l'ingénierie n'en tire pas le même parti. L'ingénierie française ne s'exporte pas, ou ne s'exporte que peu, en partie parce que la répartition du

travail et des responsabilités entre l'administration et l'ingénierie privée – bureaux d'études, laboratoires... – est encore en cours d'évolution. Mais c'est certainement un problème majeur pour l'avenir si nous voulons maintenir une certaine avance technique.

Et il faut que les maîtres d'ouvrage soutiennent, directement ou non mais à coup sûr d'une façon souple et pragmatique, la recherche, l'innovation et la compétence technique.

C'est ce dernier point qui me paraît le plus délicat. La technique, qui est à la base de notre succès, n'a plus le même attrait dans le monde

d'aujourd'hui et en particulier dans la société française. Si nous ne lui redonnons pas plus d'attrait, si nous ne pouvons pas attirer vers les métiers techniques les plus brillants des jeunes ingénieurs, nous perdrons notre avance, nos atouts et notre place.

C'est sans doute l'enjeu majeur des années qui viennent.



■ MICHEL VIRLOGEUX
Ingénieur - Consultant

La construction des appuis du viaduc de Millau

Le viaduc de Millau est un ouvrage multihaubané de 2 460 m de longueur totale comportant six travées courantes de 342 m de portée et deux travées de rive de 204 m de portée. Le tablier entièrement métallique est constitué d'un caisson orthotrope de 27,75 m de largeur suspendu à sept pylônes également métalliques par 7 x 2 nappes axiales de 11 haubans. La hauteur du tablier aux formes aérodynamiques est de 4,20 m. L'ouvrage qui comporte deux piles de plus de 200 m de hauteur (P2 : 245 m et P3 : 221 m), les plus hautes dans le monde actuellement, est conçu pour résister à des vents de plus de 205 km/h et il est muni d'écrans de protection des usagers contre le vent latéral. Le présent article décrit les grandes phases de la construction des piles et du tablier deux ans après la parution du décret de concession.

Le franchissement de la vallée du Tarn à 5 km à l'ouest de Millau est réalisé par un viaduc multihaubané de 2 460 m de longueur totale.

L'ouvrage situé à près de 270 m au-dessus de la vallée du Tarn a nécessité de longues études au vent qui se sont traduites par de nombreux essais en soufflerie et des calculs, aussi bien en phase de construction qu'en phase d'exploitation, s'appuyant sur les dernières connaissances en matière de vent turbulent.

Le tablier de l'ouvrage est mis en place par lancement à partir de chacune des culées nord et sud en s'appuyant sur des palées provisoires dont la plus haute atteint près de 175 m (photo 1). Une fois le tablier clavé au-dessus du Tarn, les pylônes métalliques seront mis en place par levage en une seule pièce de 650 t et les haubans tendus à partir du tablier.

LES INSTALLATIONS DE CHANTIER

Situées sur quatre aires d'une surface globale d'environ 8 ha, les installations de chantier résultent des considérations suivantes :

- ◆ possibilités de desserte du chantier à partir de la piste principale livrée par le concédant dont la longueur est d'environ 8,5 km entre les culées nord et sud ;
- ◆ intégration dans le site et environnement ;

- ◆ possibilités de desserte en énergie et fluides ;
- ◆ répartition au mieux des différents sites afin de limiter les circulations tant internes qu'externes. Les accès retenus ont été les suivants :

- ◆ au nord, depuis la piste en provenance de Saint-Germain où sera installée la barrière de péage ;
- ◆ au centre à partir de la RD 992 reliant Millau à Albi ;

- ◆ au sud, depuis la plate-forme autoroutière menant à la Cavalerie via le barreau de liaison.

Afin de limiter la circulation sur la RD 992, les accès nord et sud sont plus particulièrement destinés aux livraisons lourdes (convois exceptionnels). L'ensemble de ces accès a permis de desservir les sites où sont situées les installations de chantier qui comprennent principalement du sud au nord :

- ◆ l'aire des Cazalous réservée aux bureaux de chantier de l'entreprise dont les services administratifs, le bureau d'études technique, les locaux des sous-traitants ;
- ◆ l'aire des cantonnements et parkings sur le site de Champ Long 1 d'une surface approximative de 2 ha ;
- ◆ l'aire dite de Champ Long 2 d'une surface approximative de 3 ha sur laquelle sont installées les deux centrales à béton (capacité nominale de chaque centrale 80 m³/h) ainsi que l'atelier de pré-assemblage des armatures passives, les ateliers et magasins du service matériel ;
- ◆ l'aire du site de Brocuéjous sur une surface approximative de 2 ha où sont installés les bureaux de l'autorité de contrôle du concédant (AIOA) et les bureaux de la maîtrise d'œuvre Setec/SNCF.

A ces implantations principales, il faut ajouter les aires d'installation en pied de chacun des appuis d'environ 3 500 m² moyens chacune.

En outre, à proximité de l'aire du site de Cazalous, sont installés le bâtiment d'accueil du public et ses parkings pour visiteurs dont le nombre était supérieur à 200 000 à fin septembre 2003.

Pour les besoins du chantier, il a été construit, sous l'autorité du concédant :

- ◆ un pont pour le franchissement du Tarn entre les piles P2 et P3 ;
- ◆ un ouvrage du type VMD au-dessus de la RD 992 à proximité du site des Cazalous.

La réalisation en acier du tablier et des pylônes ainsi que la préfabrication en usine des éléments du tablier (platelages de 4,2 m x 23 m) ont permis de réduire de façon significative l'importance des emprises au sol.

Le volume des travaux effectué sur le site de Millau a ainsi été limité à la construction des piles et

Photo 1
Vue générale
de l'ouvrage
General view
of the structure



© Eiffage TP

et le lançage du tablier

des culées, à l'assemblage des éléments préfabriqués du tablier et des pylônes et à la mise en place du tablier par lançage.

■ LA CONSTRUCTION DES PILES

Fondations

Le dossier géotechnique de l'appel d'offres de concession reposait sur plusieurs campagnes de reconnaissances : campagnes de l'avant-projet sommaire de 1995, campagnes de l'avant-projet détaillé de 1996/1997 et puits d'essai réalisé en 1997 au voisinage de la pile P6 dans les marnes. Au nord, entre la pile P1 et la pile P4, le sous-sol est constitué de calcaire de bonne qualité, alors qu'au sud, il est constitué de marnes compactes. Avant d'entreprendre les travaux de terrassement, qui ont représenté un volume total de 350 000 m³ environ, et qui se sont déroulés d'octobre 2001 à mars 2002 à l'aide de matériels classiques : pelles hydrauliques Liebherr 954 et tombereaux articulés Volvo A30, Eiffage TP a réalisé une campagne de reconnaissances géotechniques complémentaires au droit de chaque appui. Chaque campagne consistait principalement en des sondages destructifs descendus de 10 m environ au-dessous du niveau de l'appui et dans certains cas, la réalisation d'un carottage permettait de vérifier certaines hypothèses de calcul. A la suite de ces campagnes de reconnaissances, certaines adaptations et modifications ont dû être mises en œuvre. Elles ont principalement consisté :

- ◆ au passage d'une fondation superficielle à une fondation semi-profonde pour la culée C0 ;
- ◆ à l'approfondissement du niveau de fondation des puits marocains des piles P3 et P4 pour s'affranchir d'une zone de très faibles caractéristiques mécaniques ;
- ◆ à l'élargissement des deux puits marocains côté ouest de la pile P4 pour diminuer les tassements différentiels et augmenter leur portance ;
- ◆ au remplacement par du béton des zones de faibles caractéristiques mécaniques comme une faille ou un karst rempli d'argile (cas de la pile P4 et de la culée C8).

Les semelles des piles reposent chacune sur quatre puits marocains dont les diamètres varient entre 4,50 et 5 m et la longueur est variable entre 9 et 17 m. Les puits ont été excavés à l'aide de pelles hydrauliques de type Liebherr 942 équipées de bri-

se-roche par passes successives de 1,50 m avec confortement successif en béton projeté.

Les puits des appuis P4 à P7 sont élargis en partie basse ("pattes d'éléphant").

Semelles

Après mise en place sur toute la hauteur de la semelle des coffrages périphériques constitués d'éléments standards Péri qui sont maintenus en pied à l'aide de tige d'ancrages, le bétonnage est réalisé en une seule phase à la pompe (photo 2).

Les semelles dont l'épaisseur varie entre 3 et 5 m représentent des bétonnages variant de 1 100 à 2 100 m³ dont la durée peut atteindre jusqu'à 30 heures. Les semelles sont réalisées en béton de la classe B35 0/14 et un ciment CPA-CEM 1 52.5 PM ES - CP2.



Photo 2
Ferrailage
de la semelle
de P7

Reinforcing
the footing of P7

Malgré les volumes de béton importants à mettre en œuvre, jusqu'à 2 100 m³ pour la semelle de la pile P5, l'exothermie a été limitée grâce au choix d'un ciment à faible dégagement de température initiale et à la réduction du dosage en ciment.

L'utilisation de fumée de silice (30 kg/m³) a permis de réduire le dosage en ciment à 300 kg/m³ et de limiter la variation de température à 35 °C ce qui conduit avec un béton à 25 °C à une température maximale de 60 °C qui est le niveau requis pour éviter le risque de réaction sulfatique dans un milieu où il peut y avoir circulation d'eau.

Par ailleurs, les coffrages sont maintenus suffisamment longtemps (parfois jusqu'à plus d'une semaine) après bétonnage pour éviter les chocs thermiques et prévenir les risques de fissuration du béton.

L'enrobage des armatures est de 5 cm. Avec un tel enrobage, il n'y a alors plus de risque de dépass-

Jean Pierre Martin

DIRECTEUR DE PROJET
Eiffage TP



Marc Buonomo

DIRECTEUR
Eiffel Construction Métallique



Claude Servant

DIRECTEUR TECHNIQUE
Eiffage TP



Photo 3
Construction
des piles

Construction
of the piers



© Camara Jammé

► sivation des aciers liés à la carbonatation du béton d'enrobage. Il a été calculé que la carbonatation des bétons des semelles ne dépassera pas 44 mm en 120 ans, épaisseur inférieure aux 50 mm d'enrobage mis en œuvre.

Fûts des piles

Les fûts des piles, fût unique en partie inférieure et fûts dédoublés en partie supérieure, sont réalisés en béton haute performance B60 fabriqué par deux centrales Liebherr d'une capacité nominale de 80 m³/h. Les trente premiers mètres des piles sont bétonnés à la pompe (uniquement les premières levées présentant des épaisseurs de voiles supérieures à 60 cm).

Au-delà, le bétonnage des levées de pile est réalisé à la benne à l'aide de chacune des grues à tour Potain K5-50C de 65 m de flèche et d'une capacité de 20 t au maximum (photo 3).

Toutes les grues (une par pile) sont équipées d'un ascenseur (monte-grutier), d'une salle de repos, d'une cuisine et de sanitaires.

Chaque pile est traitée comme un chantier à part entière ce qui fait que la totalité du chantier de piles est en fait constitué de sept chantiers indépendants les uns des autres. Sur chaque pile, un chef de chantier dirige une équipe de 12 personnes qui se relaient, le chantier tournant à deux postes de 7 heures.

Compte tenu de la grande hauteur des piles, toutes les équipes ayant travaillé sur le chantier ont été formées sur un élément de voile "école" afin de les familiariser avec la manipulation des coffrages et le travail en altitude. Les coffrages sont du type auto-grimpant pour la partie extérieure et du type semi-grimpant pour l'intérieur. La hauteur de chaque levée de bétonnage est de 4 m.

La géométrie des piles varie d'une phase de bétonnage à l'autre suivant une succession de surfaces gauches et d'angles évoluant de façon quasi

imperceptible ce qui nécessita une adaptation constante du coffrage. Cette géométrie complexe des piles creuses a nécessité une technique de coffrage particulièrement pointue élaborée par Eiffage TP en collaboration avec l'entreprise spécialisée Péri (photo 4).

Tous les coffrages extérieurs progressent vers le haut d'une phase à l'autre, hydrauliquement et sans grue, à l'aide de consoles auto-grimpantes ACS (Automatic Climbing System) élaborées par Péri. Le coffrage métallique spécial utilisé a permis d'obtenir un nombre d'utilisations élevé et une haute qualité d'exécution pour les parements en béton. L'opération de hissage, qui s'effectue sans l'aide d'aucune grue, s'achève au bout de 25 minutes seulement pour la hauteur de chaque levée de 4 m. Dix consoles grimpantes complètes sont utilisées pour la partie à fût unique et quatorze pour la partie à fût dédoublé des piles. Aux consoles constituées d'unités auto-grimpantes Péri ACS-R avec plates-formes de travail télescopiques, sont fixés les éléments métalliques de coffrage via des chariots roulants courants.

Tous les coffrages intérieurs ont été conçus sous forme de systèmes classiques hissés à la grue, la présence de planchers intermédiaires espacés tous les 30 m environ interdisant une application économique de la technique du coffrage auto-grimpant pour le coffrage intérieur.

Les consoles grimpantes hissées à la grue ont été adaptées à la taille des éléments de coffrage, comme dans le cas d'un échafaudage modulaire et les éléments d'échafaudage et de coffrage ont été adaptés selon la réduction des dimensions de la section.

Pour la partie à fût unique, des consoles grimpantes de type SKSF 240 ont été utilisées et pour la partie à fûts dédoublés, ce sont des éléments de construction spéciaux qui furent employés.

Sept outils coffrants au total ont été installés sur le chantier :

- ◆ trois jeux de coffrage et consoles grimpantes pour la partie à fût unique des piles ;
- ◆ trois jeux de coffrage et consoles grimpantes ainsi qu'un jeu de coffrage et consoles grimpantes extérieures pour la partie à fût dédoublé des piles ;
- ◆ un jeu de coffrage intérieur avec des consoles grimpantes pour la zone de transition située entre le fût unique et les fûts dédoublés des piles.

Un contrôle altimétrique par GPS assurait une précision de l'ordre de 5 mm en X et en Y.

En partie basse des piles, la durée de bétonnage réalisée à la benne de 3 m³ est comprise entre 6 et 7 heures en moyenne.

La quantité de béton la plus importante mise en œuvre dans une levée a été de 322 m³ pour la levée 62 de la pile P2, la plus haute, pour une durée de bétonnage de 12 heures.

En partie haute des piles, le rythme de bétonnage est de 15 à 25 m³/h.

Le cycle de rotation de chaque levée de bétonnage de 4 m a été de 3 jours pour les fûts uniques et de 3 à 4 jours pour les fûts dédoublés.

Les cages d'armatures étaient préfabriquées au sol, hissées à la grue et complétées in situ.

L'enrobage des armatures a été majoré par rapport aux règlements en vigueur pour être porté à 4 cm. Il a été vérifié que la carbonatation des bétons des fûts des piles ne dépassera pas 15 mm en 120 ans, ce qui est très inférieur aux 40 mm d'enrobage prévus. Une réflexion approfondie a été menée par le chantier en ce qui concerne les méthodes de mise en place du béton et de sa vibration correcte. Les solutions retenues ont été testées en grandeur réelle sur un élément témoin représentatif du coulage de la partie la plus massive des piles et les résultats ont montré que les choix retenus étaient les bons.

Les études thermiques, mesures en place et simulation CESAR à l'aide du module TEXO, ont montré que l'exothermie maximale des piles en béton B60 conduit à une élévation de température inférieure à 55 °C à cœur, qui, cumulée dans le pire des cas avec un béton à 25 °C (valeur maximale pouvant être atteinte) conduit au respect de la valeur de base de 80 °C.

La maturométrie a été retenue comme outil de décision pour le décoffrage du béton afin de garantir un âge équivalent sensiblement constant au moment du décoffrage. Ce paramètre qui est fondamental au niveau de l'aspect du béton, est également très important au niveau de la cure. Les deux niveaux de coffrage ont été équipés d'une jupe en géotextile protégeant le béton en cours de durcissement, du dessèchement sous l'effet du vent et de l'ensoleillement direct. Cet espace fermé a été maintenu en humidité saturée par brumisation permanente évitant ainsi l'évaporation de l'eau du béton en peau.

Chevêtres

Les piles du viaduc de Millau ayant été dessinées lors du POA (projet d'ouvrage d'art) pour une méthode de construction différente de celle adoptée par Eiffage, la conception du ferrailage et la reprise des efforts en tête de pile sont extrêmement complexes.

En outre, le chevêtre qui régnait à l'origine sur les derniers mètres de hauteur de chaque fût dédoublé et qui avait pour objet de boucher le creux intérieur des fûts de pile, ayant été supprimé afin que la section courante des fûts dédoublés des piles soit prolongée jusqu'à leur niveau supérieur juste sous le tablier, l'installation des équipements nécessaires au lancement du tablier s'est révélée particulièrement délicate.

Les fûts dédoublés des piles sont pleins dans leur partie supérieure faisant office de chevêtre, à l'exception de la levée 3 où une chambre de visite sert

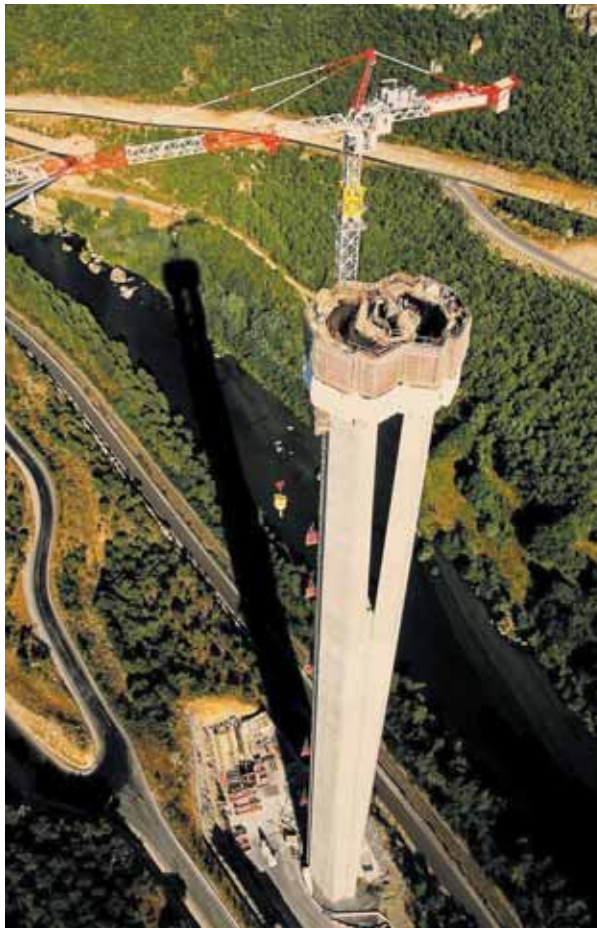


Photo 4
Réalisation des fûts dédoublés de P2

Construction
of the double shafts
of P2

à l'installation des câbles de clouage du tablier sur pile.

Le chevêtre supérieur de chaque fût dédoublé des piles règne ainsi sur les cinq dernières levées de bétonnage soit jusqu'au niveau - 17,85 m.

Des dalles préfabriquées de 200 mm d'épaisseur assurent la fermeture des fûts en leur partie supérieure et servent de coffrage perdu pour les chevêtres.

Chaque levée de bétonnage est coulée en une seule fois.

Deux trous d'homme par fût dédoublé (un côté ouest et un autre côté est) de dimensions en plan 0,80 x 0,80 m donnent accès à la partie inférieure des piles.

En phase de construction, un ascenseur permet au personnel d'accéder en haut des piles.

Le béton des fûts et chevêtres est un béton haute performance B60 G 0/14 dosé à 420 kg/m³ de ciment CPA – CEM I 52.5 PMES CP2.

Pendant le lancement, le tablier s'appuie sur les têtes de pile par l'intermédiaire d'appareils de lancement qui sont eux-mêmes portés par des chevêtres métalliques provisoires installés de part et d'autre des fûts dédoublés.

Chaque chevêtre provisoire est ainsi constitué de deux poutres horizontales et longitudinales reliées par un platelage et portées par une béquille triangulaire qui prend appui sur une réservation en creux dans la rainure architecturale située sur l'axe du



fût de pile. Les deux chevêtres sont brêlés contre les fûts de pile à l'aide de trois câbles 27 T 15 Super situés dans chacune des deux poutres horizontales ; une paire de butons situés chacun dans le prolongement des deux poutres horizontales de chaque chevêtre assure alors la transmission des efforts entre les deux fûts.

En partie basse, un buton axial situé au niveau - 11,43 m assure la transmission des efforts entre les deux fûts dédoublés.

La béquille inclinée triangulaire vient s'appuyer dans un second chevêtre situé sous la chambre de visite, elle-même située sous le chevêtre supérieur qui sert à l'installation des câbles de précontrainte 37 T 15 Super pour le clouage du tablier sur piles (quatre câbles par appareils d'appui).

Afin d'assurer la diffusion de la réaction d'appui sous la platine supportant les appareils d'appui sphériques des piles et éviter tout risque de fissuration en tête de pile en situation d'exploitation, il a été disposé une plaque épaisse en acier de 30 mm d'épaisseur sur la partie de la façade extérieure qui subit la "poussée" de l'appareil d'appui. Cette plaque qui règne sur la hauteur de la dernière levée de chaque pile, soit 1,25 m, est ancrée dans la masse du béton de la pile par des aciers horizontaux liés à la plaque par des tiges Nelson filetées soudées sur la plaque et par des coupleurs vissés sur ces tiges.

Précontrainte des piles

Les fûts dédoublés des piles d'extrémité P1 et P7 qui sont surtout sensibles aux effets des variations de la température et ceux des piles hautes P2 à P6, surtout sensibles aux actions du vent turbulent, sont précontraints sur toute leur hauteur afin de réduire les efforts de traction extrêmes et donc de retarder et de limiter leur fissuration dans les conditions des états limites de service.

La précontrainte dans les piles qui n'était pas prévue dans le projet de base du concédant a également une influence favorable sur la durabilité de l'ouvrage et donc la durée de vie contractuelle exigée de 120 ans.

Chaque fût dédoublé des piles est ainsi précontraint à l'aide de huit câbles 19 T 15 Super du procédé Dywidag.

La précontrainte des piles P2 à P6 est identique et sur les huit câbles 19 T 15 Super :

- ◆ quatre sont ancrés dans des bossages en saillie juste au-dessus du palier situé à - 60 m ;
- ◆ quatre autres sont ancrés dans des bossages en saillie entre les deux paliers de la jonction des jambes à - 90 m, juste au-dessus du palier inférieur.

La précontrainte des fûts dédoublés de la pile P1 règne sur toute leur hauteur, les huit câbles 19 T 15 Super étant ancrés en partie basse dans des bossages coulés en seconde phase.

Le cas de la pile P7 qui n'est haute que de 77,85 m est un cas particulier, les huit câbles 19 T 15 Super qui règnent sur toute la hauteur des fûts sont ancrés en partie basse dans les parties verticales de la semelle.

Les gaines sont des tubes lisses en acier de diamètre 128 mm intérieur, l'étanchéité entre éléments de gaine étant assurée par des manchons thermorétractables.

L'enfilage des torons depuis la partie basse du câble n'étant pas réalisable, seul l'enfilage par le haut et toron par toron était possible. Pour l'enfilage, des précautions ont été prises au droit des ancrages inférieurs et supérieurs pour assurer le maintien des câbles dans leur gaine avant la mise en tension. Cette dernière se fait par l'ancrage actif sur le chevêtre de la pile (ancrage passif en partie basse).

Compte tenu de la grande longueur des câbles, de l'ordre de 96 m pour ceux des piles P2 à P6, un essai d'injection a été réalisé sur grande hauteur dans le but de valider les méthodes et les matériels qui ont été utilisés par le chantier. Cet essai, qui a permis de simuler l'injection des câbles verticaux de précontrainte des piles, a été réalisé dans la pile P3 du viaduc de Verrières, ouvrage situé sur l'autoroute A75 à quelques kilomètres du viaduc de Millau. Cet essai a consisté à injecter un tube en acier de 110 m de hauteur placé à l'intérieur de la pile à travers les trous d'homme situés à chaque palier.

L'injection a été effectuée depuis le bas du tube, des tubes évents ayant été mis en place sur chaque palier afin de mesurer la température et la fluidité du coulis au cours de son cheminement. Un tube PVC transparent installé sur les six derniers mètres et bridé sur le tube acier inférieur a permis de réaliser des mesures d'exsudation au point haut au bout de 3 heures puis de 24 heures.

L'essai réalisé a ainsi permis de valider :

- ◆ la composition du coulis utilisé Superstresscem CPA CEM I 42.5 PMES CP2 ;
- ◆ la durée d'injection ;
- ◆ l'efficacité du matériel mis en œuvre (débit, temps de préparation, pression d'injection).

Une pompe d'injection capable d'injecter les 100 m de câble depuis l'ancrage bas était installée sur le palier de séparation des deux fûts dédoublés (environ - 100 m).

Des évents ont été positionnés au niveau des deux paliers intermédiaires des fûts dédoublés afin de mieux contrôler la montée du coulis et servir éventuellement de point d'injection en cas de problème. Les injections des câbles réalisées à ce jour se sont ainsi déroulées dans de parfaites conditions.

Appareils d'appui

Etant donné les valeurs des efforts (90 MN aux ELS et 115 MN aux ELU), des rotations à transmettre

et l'encombrement disponible en tête de pile, les appareils d'appuis sur piles (quatre au total par pile soit deux par fût dédoublé) sont des appareils d'appui fixes du type à calottes sphériques présentant une surface de glissement en alliage de bronze DU-B. En effet, compte tenu de la taille des appareils d'appui, il n'était pas possible de faire reprendre le glissement par le matériau le plus classique et le plus utilisé à ce jour qu'est le téflon. L'entreprise Maurer a donc proposé d'utiliser un matériau de glissement le DU-B pour lequel les caractéristiques principales sont les suivantes :

- ◆ coefficient de frottement : 0,13 à une température de - 35 °C ;
- ◆ pression admissible à l'ELS : 140 N/mm² ou MPa ;
- ◆ pression admissible à l'ELU : 182 N/mm² ou MPa.

■ LA CONSTRUCTION DES CULÉES

Les culées sont du type culées creuses d'une largeur de 13 m, plus étroites que le tablier, et munies d'encorbellements latéraux qui prolongent la forme du tablier jusqu'à son entrée dans le terrain naturel.

Côté nord, l'existence d'un réseau important de fractures verticales a été constatée sur la zone d'appui avant de la culée C0. L'existence d'une zone décomprimée à environ 7 m sous l'arase théorique du terrassement, décelée par les sondages complémentaires, a imposé une solution de confortement pour la reprise des efforts de lancement du tablier qui étaient dimensionnants. Cette solution de confortement a consisté à réaliser un puits marocain de 4,5 m de diamètre d'une profondeur de 12 m sous le radier, calculé pour reprendre l'intégralité des efforts provisoires pendant le lancement. Les fractures verticales ont été dégagées et remplies gravitairement par du béton afin d'assurer le contact entre les divers blocs de calcaire sans pour autant modifier l'hydrogéologie du site.

Cette culée, la plus proche de la zone de la future barrière de péage du viaduc, renferme les locaux techniques nécessaires à l'exploitation du viaduc. Côté sud, la culée C8 est fondée sur un radier général pour s'affranchir des risques d'éventuels tassements différentiels qui pourraient être engendrés par la relative karstification du massif rocheux.

A l'ouverture des fouilles, en partie arrière de la culée, un karst de très grande dimension a été mis à jour. Ce karst a été purgé sur une hauteur proche de 6 m puis remblayé par du béton coulé pleine fouille (150 m³ environ ont été mis en œuvre). En partie avant de la culée, aucun karst n'a été repéré.

Les deux culées C0 et C8 ont été bétonnées en plusieurs phases successives du fait de leur grande hauteur et de leur grande longueur.

Le béton mis en œuvre est un béton B 35G 0/14 dosé à 385 kg/m³ minimum de ciment CPA CEM I 52.5 PMES CP2.

Les culées étant les seules structures porteuses exposées aux projections de sels de déverglaçage, il a été prévu pour les parties concernées un béton "G + S" conforme aux règles dites "GRA", avec entraîneur d'air, apte à répondre à ce type d'agression.

Le tablier repose sur les massifs d'appuis de chacune des culées par l'intermédiaire d'appuis glissants d'une capacité de 9 MN à l'ELS et de 11 MN à l'ELU. Le matériau de glissement utilisé est le matériau MSM de chez Maurer.



Photo 5
Palée provisoire $\pi 4$
en cours de montage
Temporary bent $\pi 4$
undergoing assembly

■ LES PALÉES PROVISOIRES

La réalisation du tablier par lancement nécessite d'installer sept appuis provisoires intermédiaires constitués de palées métalliques en treillis (en forme de K) présentant une section carrée de 12 x 12 m dont les membrures et les diagonales sont constituées de tubes métalliques Ø 1016 mm en acier S460 et de longueur 12 m (photo 5).

Deux de ces palées provisoires sont mises en place dans chacune des travées de rive à l'aide d'une grue car leur hauteur ne dépasse pas 30 m (palée $\pi 1$: 25,80 m ; palée $\pi 7$: 21 m).

Pour la mise en place des cinq autres palées provisoires dont la hauteur varie entre 92 m et 173 m (palée $\pi 2$: 172,4 m ; palée $\pi 3$: 145,7 m ; palée $\pi 4$: 143,4 m ; palée $\pi 5$: 123,6 m ; palée $\pi 6$: 92 m) un système de levage télescopique a été

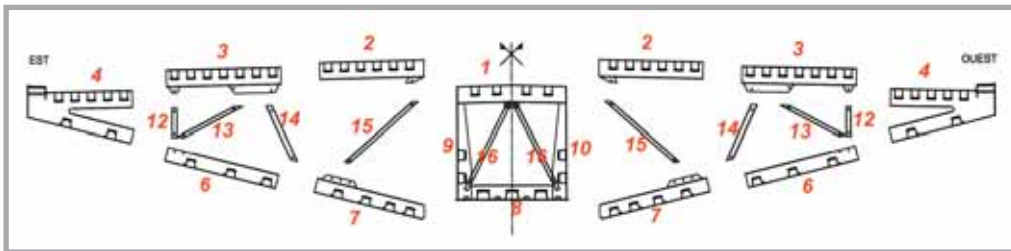


Figure 1
Découpage en tronçons
de la section
transversale du tablier

Breakdown of the cross
section of the deck
into sections



Photo 6
Fabrication
des platelages du tablier
dans l'usine
de Lauterbourg

Manufacture
of the deck flooring
in the Lauterbourg
factory

Le système de synchronisation permet d'assurer un plan à 3 mm près et de contrôler les efforts dans chacun des vérins.

L'ensemble commande centrale (tableau de commande, câblage, écran) est protégé contre les intempéries, les perturbations électromagnétiques et les impacts qui pourraient survenir lors de l'installation ou pendant l'opération.

La capacité totale de la poussée est de 2 400 t. En situation accidentelle, deux vérins sont suffisants pour le télescopage de la palée.

Chaque palée provisoire est équipée en tête d'un chevrete métallique recevant les appuis de lancement appelés translateurs et les plates-formes de travail.

Le poids total des palées provisoires mises en œuvre est de 5 000 t y compris les chevêtres métalliques en tête.

Les palées provisoires $\pi 4$, $\pi 5$ et $\pi 6$ situées au droit du Plateau de France sont fondées chacune sur quatre puits marocains de 4,50 m de diamètre élargis à 5,50 m en partie inférieure ("patte d'éléphant" d'épaisseur 1 m) et de longueur comprise entre 4,50 et 11 m.

Les autres palées provisoires, $\pi 1$ à $\pi 3$ au nord et $\pi 7$ au sud, sont fondées superficiellement sur des semelles de dimensions 10 x 14 m pour les palées $\pi 1$ et $\pi 7$; 18 x 21 m pour la palée $\pi 2$ et 18 x 19 m pour la palée $\pi 3$.

conçu par Eiffel. L'exécution de la partie hydraulique de ces palées a été confiée à la société Enerpac.

Dès qu'une palée provisoire est construite, le système de levage télescopique, appelé également cage de télescopage, qui comprend tout l'équipement hydraulique, piloté par ordinateur, est démonté puis déplacé et remonté à l'emplacement de la palée suivante.

La cage de télescopage se compose d'une structure métallique de 36 m de hauteur capable de reprendre les efforts dus au vent jusqu'à une vitesse de 180 km/h. Sur cette structure, il y a quatre crémaillères qui permettent le levage de la palée.

Le télescopage peut avoir lieu jusqu'à une hauteur de 140 m pour une vitesse de vent de 72 km/h.

Les vérins ont une course de 1 000 mm utile et les crémaillères sont munies de crans tous les 1 000 mm. Chaque vérin hydraulique de levage opère de façon indépendante car il possède sa propre commande avec la possibilité de verrouillage immédiat. Il y a une régulation et une synchronisation électroniques de la course des vérins.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

- ◆ les supports des vérins sont verrouillés dans les crémaillères à l'aide de cales, l'élément de la palée provisoire étant libre ;

- ◆ les vérins sont alors mis sous pression et les tiges des vérins poussent l'élément de la palée vers le haut qui est ainsi levé à la hauteur du cran de crémaillère suivant.

■ LA FABRICATION DU TABLIER

La fabrication du tablier en usine

La section transversale du tablier, qui a été proposée par Eiffel, tient compte des possibilités de fabrication en usine, de transport et de montage sur site (figure 1).

La section courante du tablier est constituée :

- ◆ d'un caisson central de largeur 4 m et de hauteur 4,20 m ;
- ◆ de panneaux intermédiaires raidis (platelages supérieurs et inférieurs) de 3,75 à 4,20 m ;
- ◆ de deux caissons latéraux de 3,84 m ;
- ◆ de bracons en UPN constituant un diaphragme transversal.

Le principe de construction du tablier est le suivant :

- ◆ fabrication à l'usine Eiffel de Lauterbourg des éléments du caisson central 1, 8, 9 et 10 ; des éléments de platelage 2, 3, 6 et 7 et des caissons latéraux 4 (photo 6) ;

- ◆ transport de l'usine de Lauterbourg :

- des éléments de platelage 2, 3, 6 et 7 et des caissons latéraux 4 sur le site de Millau,

- des éléments de caissons centraux 1, 8, 9 et 10 à l'usine Eiffel de Fos-sur-Mer ;

- ◆ montage des caissons centraux à Fos-sur-Mer à partir des éléments préfabriqués à Lauterbourg ;

◆ transport des caissons centraux de Fos-sur-Mer sur le site de Millau.

A fin septembre 2003, plus de 80 % des éléments de platelage sur un total de 2078 ont été réalisés dans l'usine de Lauterbourg et plus de 75 % des caissons centraux sur un total de 173 ont été reconstitués dans l'usine de Fos-sur-Mer.

Afin de permettre à l'usine de Lauterbourg de produire pour début 2004 la totalité des éléments de platelage métallique qui formeront le tablier du viaduc de Millau, l'entreprise Eiffel a investi dans des équipements de très haute technologie :

◆ une machine d'oxycoupage à plasma qui permet de porter très rapidement la température du mélange flamme et oxygène à 28000 degrés grâce à l'injection du plasma dans ce mélange. Le chalumeau ainsi constitué, véritable "couteau à métal" peut ainsi découper avec une précision extrême jusqu'à 1,80 m d'acier à la minute ;

◆ un robot de soudage à deux têtes comme en possèdent en France les grands chantiers navals ;

◆ une remorque autoélévatrice d'une capacité de 160 t ;

◆ des tachéomètres laser automatiques pour contrôler les dimensions des platelages.

La méthode de fabrication des platelages est la suivante :

◆ découpe au format et marquage de la tôle sur banc d'oxycoupage automatique à commande numérique programmable à distance depuis le bureau de préparation (tôle coupée avec une surlongueur de 25 mm). Afin de tenir compte du retrait transversal dû au soudage des raidisseurs longitudinaux, il a été ajouté 1 mm par auget à la largeur des tôles. Le marquage à froid est réalisé au pointeau pneumatique sur le banc d'oxycoupage avant l'opération de coupe. Il donne ainsi un report des dimensions extérieures de la tôle et les positions des augets et il permet de vérifier l'évolution de la forme et des dimensions de la tôle ;

◆ positionnement des augets sur les marquages pratiqués sur la tôle lors de l'oxycoupage avec l'aide d'un "peigne gabarit" qui accompagne l'opérateur dans son opération de pointage ;

◆ soudage en long des augets sur le platelage grâce à l'utilisation de deux portiques de soudage automatiques deux têtes double fil sous flux pulvérulent. Afin de compenser les déformations dues au soudage, le platelage est bridé sur un coffrage hydraulique ad hoc ;

◆ pose des raidisseurs en T sur le platelage ;

◆ soudage des raidisseurs sur le platelage à l'aide du procédé semi-automatique sous flux gazeux avec le dévidoir suspendu au bout d'une potence articulée sur un chariot motorisé. Cette soudure est exécutée grâce aux deux têtes du robot de soudage ;

◆ contrôle des soudures (visuel, radioscopie, ultrasons, magnétoscopie ou ressuage) avec établissement de procès-verbaux et contrôle dimensionnel

à l'aide d'un théodolite à distance mètre laser (précision de la mesure $\pm 0,5$ mm) ;

◆ contrôle dimensionnel à l'aide du tachéomètre ;

◆ mise en peinture dans un tunnel.

Les éléments du viaduc sont livrés sur leur site d'assemblage par convois routiers exceptionnels. Pour ce qui concerne les caissons centraux, les "pièces détachées", deux pans latéraux, un fond, un toit de caisson et les ancrages inférieurs des haubans, arrivent à l'usine Eiffel de Fos-sur-Mer en provenance de celles de Lauterbourg et de Maizières-les-Metz. Stockées sur une aire, elles sont ensuite montées sur deux "mannequins" fabriqués spécifiquement pour l'occasion. Sur le premier, on assemble les éléments, sur le second on soude l'ensemble.



© Camara Jammie

Photo 7
Transport
des caissons
centraux

*Transporting
the central box
girders*

A ce stade, un contrôle interne et externe complet des soudures est effectué en interne avec établissement de procès-verbaux et un contrôle dimensionnel est effectué comme pour les platelages. Une fois le caisson central réalisé dans l'usine de Fos-sur-Mer (caisson assemblé, soudé et peint), celui-ci est transporté sur le site de Millau par éléments de 15 à 22 m de longueur et d'un poids maximal de 90 t (au rythme de trois caissons par semaine) (photo 7).

Les parties latérales du tablier constituées de quatre panneaux et d'un caisson de rive, sont transportées sur le site de Millau depuis l'usine de Lauterbourg par élément de 20 à 24 m de longueur d'un poids maximal de 40 t.

Au total, le nombre de voyages réalisés sera de 1500 environ.

La solution tablier métal et pylône métallique a permis d'économiser 5000 rotations de camions qui auraient été nécessaires pour une solution 100 % béton.

La liaison tablier-pylône a été conçue et fabriquée dans l'usine d'Eiffel à Lauterbourg, calculée et dessinée par le bureau d'études Greisch à l'aide d'un calcul aux éléments finis de 100000 équations. Cette liaison permet d'assurer l'encastrement du pylône sur le tablier avec une conception originale pour faire transiter les efforts du pylône tra-

Photo 8
Aire d'assemblage
du tablier côté sud
*Deck assembly area
on the south side*



© Camara Jammie

Photo 9
Lançage
du tablier côté
nord
*Launching
the deck
on the north side*



© Eiffage TP

► pézoidal au fond de caisson qui est rectangulaire.
Les aciers prégrainés d'usine proviennent de chez Dilling (filiale d'Arcelor implantée en Sarre). Ils sont acheminés par le Rhin à l'usine Eiffel de Lauterbourg et par rail ou par route dans les autres usines qui fabriquent le pylône.

L'assemblage du tablier sur site à 700 m d'altitude sur le Larzac

Deux ateliers forains d'assemblage sont installés sur les plates-formes situées en arrière de chacune des culées avec tout le matériel nécessaire (grues, portiques de manutention de 90 t, bancs de soudage, cabine de peinture) (photo 8).

Chacun des ateliers comporte trois zones de travail de 171 m avec pour chacune ses activités spécifiques :

- ◆ une première zone, la plus éloignée de la culée, sert au raboutage des caissons centraux ;
- ◆ une deuxième zone où sont réalisés l'assemblage des autres éléments du tablier et leur raboutage au caisson central ;
- ◆ une troisième zone où le tablier totalement assemblé est peint y compris le montage des BN4, les corniches et les montants des écrans brise-vent avec leur grillage de protection.

Les travaux de soudage sur site nécessitent l'utilisation d'environ soixante-dix soudeurs par aire d'assemblage.

Les contrôles non destructifs des soudures sont réalisés aux ultrasons pour les soudures bout à bout et par magnétoscopie pour les cordons d'angle. Les taux de contrôle sont fonction des taux de contraintes (suivant la norme NFP 22.473).

Les soudures à l'intérieur des caissons sont réalisées au fil fourré sous gaz. Les soudures extérieures sont réalisées à la machine twin-arc sous flux poudreux.

Marginalement, certaines soudures sont réalisées à l'Innershield.

L'assemblage complet d'un tronçon de tablier de 171 m de longueur nécessite l'utilisation d'environ 4,8 t de métal et un délai de six semaines environ. La consommation globale du métal d'apport sur le chantier est estimée à 150 t.

Les contrôles non destructifs des soudures sont réalisés sur chantier par l'Institut de Soudure.

■ LA MISE EN PLACE DU TABLIER PAR LANÇAGE

Comme indiqué dans le précédent article de février 2003 de la revue *Travaux* consacré au viaduc de Millau, le tablier métallique est mis en place par lancement sur ses appuis au fur et à mesure de la construction de ses tronçons qui sont assemblés par phases successives au droit des plates-formes aménagées derrière les culées C0 et C8.

Les opérations de lancement se poursuivent du côté sud (C8). Le premier lancement s'est déroulé fin février 2003. Depuis cette date, cinq autres lancements ont eu lieu dont en particulier les premiers lancements avec le pylône P3 et ses haubans de lancement (lancement L3S début juillet et lancement L4S fin août 2003). Les mêmes opérations se déroulent côté nord (C0). Au 15 novembre 2003, les deux premiers lancements qui consistent à amener l'axe du pylône de lancement P2 au droit de l'appui N1 où il sera mis en place ont eu lieu (photo 9).

Chaque tête de pile et de palée provisoire est équipée d'un chevêtre métallique sur lequel est disposé le système de lancement (balancelles et translateurs). Chaque chevêtre comporte quatre balancelles (deux côté nord et deux côté sud) espacées transversalement de 4 m et longitudinalement de 21 m (piles P1 à P7) ou 20 m (palées $\pi 2$ à $\pi 6$). Les appuis d'extrémité (palées $\pi 1$ et $\pi 7$, culées C0 et C8) sont équipés seulement de deux balancelles.

Pendant les phases de lancement, les vérins des deux balancelles installés sur le même axe longitudinal (ouest ou est) sont reliés hydrauliquement pour permettre les variations de rotation longitudinale du tablier (effet boggie) (photo 10).

Chaque balancelle est munie d'un translateur, sys-

tème composé d'un vérin horizontal dit de "levage" capable de développer une poussée de 250 t et de deux vérins horizontaux de 60 t qui se rétractent pour permettre le déplacement du tablier sur une distance de 600 mm.

Chaque translateur repose sur un système de vérins (quatre ou six) simple effet à verrouillage par écrous.

Ce système de vérins permet d'équilibrer les charges sur les appuis ouest et est de chaque fût dédoublé des piles, de compenser les rotations du tablier en cours de lançage, de corriger ou de modifier l'altitude des translateurs.

Pour le passage du pylône de lançage, chaque translateur de chacun des deux appuis avant est supporté par un système de six vérins de 600 t chacun et de 500 mm de course. Sur les autres appuis situés à l'arrière, quatre vérins de 280 t et de 300 mm de course chacun sont installés après le passage du pylône.

Des valves rendent les différents groupes de vérins indépendants les uns des autres et contrôlent ainsi le niveau et la rotation du tablier, chaque système possédant une centrale de contrôle indépendante pour les patins et les vérins de levage. Chaque translateur est constitué d'un berceau en U dans lequel se déplacent une cale biaise de levage actionnée par le vérin de levage et une coulisse actionnée par les deux vérins horizontaux de lançage.

Chaque cycle de lançage déplace le tablier de 600 mm et dure en moyenne quatre minutes.

Dans la dernière phase de lançage du tablier, la capacité de poussée sera de 5280 t côté sud (poids du tablier de 1743 m de longueur d'environ 27500 t) et de 2400 t côté nord (poids du tablier de 717 m de longueur d'environ 12300 t).

Le principe de translation du tablier est le suivant (figure 2) :

1. Dans sa position initiale au repos, le tablier est supporté par le berceau ;
2. Le vérin de levage, en faisant coulisser la cale biaise, permet de soulever le tablier de son appui et de le faire reposer sur la coulisse ;
3. Les rails qui portent le tablier coulisent vers l'avant grâce à l'extension des vérins horizontaux de lançage ;
4. La translation de 600 mm effectuée, la cale biaise reprend sa position de départ, laissant le tablier reposer sur le berceau.

Tous les systèmes de translateurs sont commandés en même temps et des centrales hydrauliques avec débit contrôlé garantissent un déplacement identique de chaque translateur.

Les écarts de synchronisation au cours du mouvement sont limités à 1,5 mm pour les vérins d'un même équipement (pile ou palée) et à 30 mm pour les vérins de deux équipements quelconques (pile ou palée).

Les centrales hydrauliques installées permettent



Photo 10
Translateur
sur culée nord
Side shifter
on north abutment

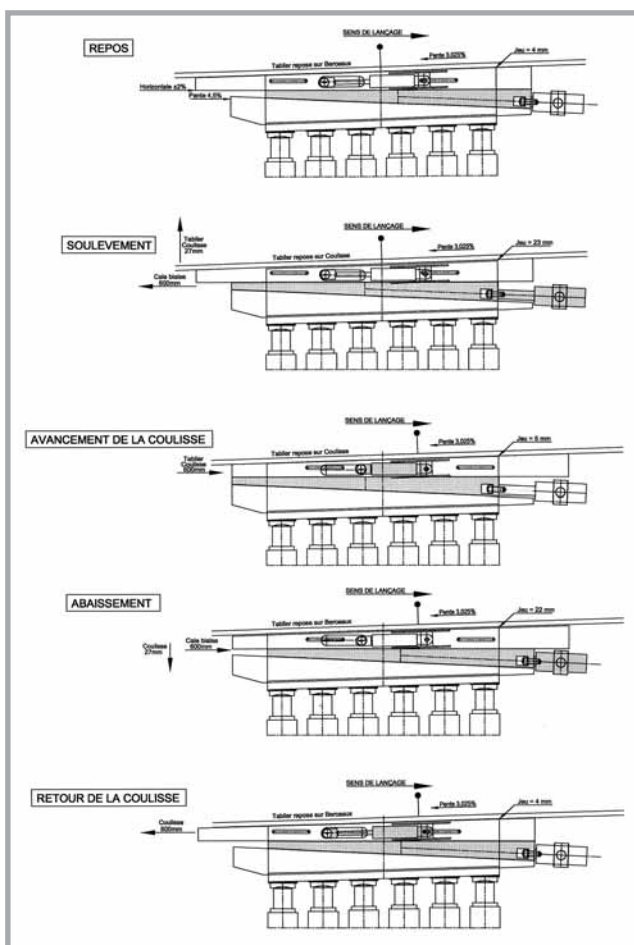


Figure 2
Cinématique
de translation
du tablier

Kinematics of deck
translational
movements

de réaliser une vitesse globale d'avancement de 10 m/h en moyenne, soit environ 16 cycles par heure.

Tout le système hydraulique pour le déplacement du tablier est ainsi commandé depuis le centre de contrôle situé au droit de la culée. Ce centre, qui reçoit toutes les données par l'intermédiaire d'un câble BUS, les traite automatiquement afin que le système suive les paramètres déterminés lors de la programmation du cycle.

Chaque système hydraulique individuel possède en outre un tableau de commande local qui lui permet d'effectuer les mouvements des patins de façon indépendante à partir de la pile.

Le déplacement du tablier peut s'effectuer suivant trois modes : manuel, semi-automatique et automatique.

En mode automatique, le cycle complet est effectué. En mode semi-automatique, chaque mouve-

ment s'effectue pas à pas : levage, poussage, descente, rétraction des vérins.

Le mode manuel, employé pour la mise au point du système, est utilisé si nécessaire pour des corrections instantanées.

Pour franchir la distance de 171 m entre les appuis de lancement que constituent les piles et les palées provisoires, les 342 premiers mètres du tablier lancé côté nord et du tablier lancé côté sud sont équipés du pylône définitif sans son chapeau supérieur (P2 au nord et P3 au sud soit une hauteur totale de 70 m) et de six paires de haubans définitifs sur les onze que comporte chaque nappe de haubans.

L'extrémité avant du porte-à-faux est également munie d'un avant-bec pour faciliter l'accostage sur les différents appuis.

En effet, au fur et à mesure que le pylône se rapproche de l'appui suivant, le tablier prend une flèche vers le bas de sorte que son niveau est inférieur à celui de la pile qu'il va accoster. L'avant-bec a donc pour objet de compenser cette différence.

Cet avant-bec d'un poids total de 80 t est constitué de deux parties principales réalisées en tubes et assemblées entre elles par une double rotule et un vérin de réglage :

- ◆ la partie mobile d'environ 36 m permet l'accès du personnel et du petit matériel sur la palée ou sur la pile accostée environ 60 m avant la fin de chaque phase de lancement de 171 m ;

- ◆ la partie fixe d'environ 13 m permet d'assurer un appui centré sur les quatre balancelles de palées en phase d'arrêt. Cette partie fixée en bout du tablier permet également de rattraper pour quatre appuis (P1, π_2 , π_6 et P7) une dénivellation d'accostage maximum de 2,34 m.

Le système de relevage de l'avant-bec qui permet de lever l'avant-bec au niveau du patin est constitué d'un groupe hydraulique de quatre vérins de 270 t. Un autre système hydraulique permet le pivotement de l'avant-bec.

Les phases initiales de lancement ont nécessité de chaque côté un pré-lancement de 114 m sur plate-forme, afin d'amener l'axe des pylônes de lancement P2 et P3 au droit des appuis où ceux-ci seront mis en place.

Une des originalités de la construction proposée par le bureau d'études Greisch a été de profiter de la souplesse du tablier pour réaliser un lancement à double courbure.

Sur les appuis P2 à P6 et sur les palées provisoires π_2 à π_6 , le niveau du profil de lancement est le niveau définitif des appuis. Par contre, à l'arrière des culées C0 et C8, les appuis de lancement se situent à 5,40 m au-dessus du niveau définitif de l'ouvrage pour les appuis N1 et S1 et à 4,80 m pour les autres. Le rattrapage des niveaux se fait par un tracé en long à double courbure, les appuis de glissement étant relevés de 4,40 m en C0 et C8, de 3,50 m en π_1 et π_7 et de 0,30 m en P1 et P7.

Les opérations de lancement courant ont lieu sous couverture météo pour une vitesse de vent maximale de 85 km/h.

En phase d'arrêt pendant les périodes d'assemblage des éléments du tablier, l'ouvrage est capable de résister aux vents turbulents dont la vitesse est égale à 90 % de celle des vents de service soit 185 km/h environ.

Les phases d'arrêt correspondent systématiquement à une position telle qu'aussi bien l'extrémité du porte-à-faux que l'axe du pylône de lancement se trouveront à l'aplomb d'une pile ou d'une palée provisoire.

■ LES PYLÔNES ET LES HAUBANS DE LANCÉAGE P2 ET P3

Les pylônes métalliques de 87 m de hauteur sont en forme de Y renversé orienté longitudinalement et dans le prolongement des fûts dédoublés des piles.

La partie inférieure de chaque pylône est constituée de jambes hautes de 38 m. Au-dessus, le pylône reçoit les 22 ancrages des deux nappes de onze haubans. Les derniers 17 m du pylône ne sont pas structurels et constituent un élément esthétique.

Les pylônes métalliques sont fabriqués dans l'usine Munch, filiale d'Eiffel à Frouard.

Les éléments de pylône réalisés en atelier selon le même principe que les éléments du tablier sont livrés sur chantier par convois routiers exceptionnels en éléments de longueur inférieure à 12 m. Le poids maximal d'un élément est de 75 t.

Les travaux d'assemblage de chaque pylône de lancement sont réalisés avant la phase de lancement L3. Le pylône P3 est monté à la verticale de l'appui de lancement S1 côté sud et le pylône P2 à la verticale de l'appui de lancement N1 côté nord. Les éléments de pylône pré-assemblés au sol sont posés sur le tablier à l'aide d'une grue treillis sur chenille de 850 t (photo 11).

Chaque phase de pose correspond aux travaux de pose proprement dits, au réglage des pièces et aux travaux de soudage.

Les contrôles suivants sont réalisés :

- ◆ contrôle géométrique des tronçons de pylône pré-assemblés ;
- ◆ contrôle des joints à souder des tronçons ;
- ◆ contrôle non-destructif des soudures ;
- ◆ contrôle géométrique du pylône monté.

La partie supérieure des pylônes P2 et P3 appelée "chapeau" (entre les niveaux 70,000 et 86,925 m) sera mise en place après clavage des deux fléaux du tablier juste après le dernier lancement.

Une fois ces opérations réalisées, la mise en place des haubans de lancement et leur réglage suivant les instructions du bureau d'études peuvent commencer.

Les haubans du type MTP (multi-torons parallèles)

sont fournis et mis en œuvre par la société Freysinnet. Chaque hauban est constitué d'un faisceau de torons T 15.7 parallèles de la classe de résistance 1 860 MPa. Chaque toron est protégé par une triple barrière : galvanisation + cire pétrolière + gainage PEHD (polyéthylène haute densité). Le faisceau de torons est en outre protégé par une gaine extérieure blanche en PEHD non injectée qui constitue une barrière anti-UV comportant à sa surface des spirales discontinues afin de lutter contre les vibrations dues à l'effet combiné de la pluie et du vent.

Les haubans utilisés en phase de lancement comportent un nombre de torons variable entre 45 (haubans N2 et S2) et 91 (haubans N11 et S11).

Afin de pouvoir réaliser les détensions nécessaires sur certains haubans pendant certaines phases de lancement, ceux-ci nécessitent des courses de réglage importantes allant jusqu'à 900 mm.

Les variations de tension dans l'ouvrage en cours de construction sont très importantes (1 040 MPa aux ELS et 1 355 MPa aux ELU). Dans certaines phases de la construction, la tension peut atteindre 0,60 FRG aux ELS (1 116 MPa) et s'annuler dans d'autres. Pour éviter les risques de vibration des haubans peu tendus, il a été disposé des aiguilles provisoires de 40 mm de diamètre en chanvre. Les aiguilles sont tendues puis détendues au fur et à mesure de la progression du tablier, en fonction des besoins pour empêcher les haubans de vibrer. Les plus longs haubans mis en œuvre ont une longueur totale de 180 m et pèsent environ 25 t.

Côté sud, les premiers haubans ont été installés entre le 10 et le 26 juin 2003.

■ L'INSTRUMENTATION ET LE SUIVI DE L'OUVRAGE PENDANT LA CONSTRUCTION

Afin de valider les calculs et pouvoir connaître et juger du comportement de l'ouvrage pendant sa construction et en particulier pendant les opérations de lancement du tablier, il a été mis en place un programme d'instrumentation et de mesures infiniment plus lourd que celui mis en œuvre habituellement pour les ouvrages d'art exceptionnels haubanés et notamment que celui mis au point pour la surveillance du pont de Normandie.

A notre connaissance, aucun ouvrage au monde n'a encore fait l'objet d'un suivi aussi complet pour lequel il a été mis en œuvre deux types de mesures :

◆ celles nécessaires au contrôle de la construction elle-même :

- mesures de nivellement des semelles de fondation complétées par des mesures inclinométriques,
- mesures géométriques classiques pour les piles (prismes) avec mesures inclinométriques en tête de chacun des fûts dédoublés,



© Eiffage TP

Photo 11
Pylône de lancement
en cours de montage

Launching tower
undergoing assembly

- mesures extensométriques pour évaluer le fluage du béton,
- mesures de la température pour évaluer les gradients transversaux,
- mesures de la vitesse du vent à l'aide d'anémomètres installés sur les grues ;
- ◆ celles permettant de vérifier que l'ouvrage se comporte conformément aux calculs en cours de lancement du tablier :

- repérage de la position exacte du tablier à l'aide d'une balise GPS installée à l'avant du tablier ;
- mesures des déplacements des piles et palées provisoires à l'aide de prismes installés en tête complétées par des mesures télémétriques de précision pour les palées d'extrémité $\pi 1$ et $\pi 7$ les plus raides et par un dispositif laser à axe vertical sur le chevêtre des appuis et une cible installée sur la semelle de fondation ou à la dalle de liaison à la base des fûts dédoublés selon le cas (un système d'arrêt automatique du lancement est déclenché dès que le spot laser sort de la cible prévue en cas de dépassement du seuil de déplacement fixé à l'avance par le bureau d'études) ;
- mesures du déplacement de la culée à l'aide de capteurs ;
- mesures de nivellement topo sur le tablier, sous le pylône, au niveau de l'ancrage du plus long hauban et sur l'avant-bec ;
- mesures inclinométriques et suivi des prismes en tête du pylône de lancement ;
- mesures dynamiques des effets du vent à l'aide d'un anémomètre 3D à l'avant du tablier et d'accéléromètres bidirectionnels installés en tête du pylône et sur le tablier (quatre au total) ;



© Camara Jamme

Photo 12
Feu d'artifice marquant le record du monde de hauteur de la pile P2

Fireworks display marking the world record height of pier P2

- ▶ - mesures et contrôles de la tension dans six haubans de lancement à l'aide de cellules de mesures,
- mesures de la température à l'intérieur du caisson (27 jauges au total),
- mesures de la déplanation des âmes du caisson à l'aide de capteurs de déplacement (*patch-loading*).

■ CONCLUSION

Lancés le 10 octobre 2001, suite à la parution du décret de concession au Journal Officiel, les travaux de construction du viaduc de Millau sont entrés dans leur troisième année (pour une durée totale de 39 mois).

A la fin de l'année 2003, tous les ouvrages de génie civil réalisés par Eiffage TP seront terminés et il restera aux équipes d'Eiffel à terminer le lancement des tabliers nord et sud, à les claver puis à installer les pylônes et les haubans restants.

Les finitions seront achevées, par Appia pour la couche de roulement et par Forclum pour les équipements d'exploitation, pour la fin de l'année 2004 afin que l'ouvrage soit mis en service le 10 janvier 2005.

Depuis le 12 juin 2003, la pile P2, qui culmine à 245 m de hauteur, détient le record du monde de hauteur des piles qui était détenu précédemment par la pile P4 du viaduc du Kochertal en Allemagne (180 m environ) (photo 12).

La préfabrication des voussoirs en béton spécial industriel BSI®/Céramcem (béton fibré ultra-performant de 165 MPa de résistance caractéristique) qui constituent l'auvent de la barrière de péage a démarré. Les voussoirs seront ensuite transportés jusqu'au site de la barrière de péage au nord du viaduc, à Saint-Germain, où ils seront mis en place sur un étaielement à l'aide d'une grue puis précontraints dans le sens longitudinal seul.

ABSTRACT

Construction of supports and launching the deck for the Millau viaduct

J.-P. Martin, M. Buonomo, Cl. Servant

The Millau viaduct is a multiple-cable-stayed structure of total length 2,460 m, comprising six main spans 342 m long and two end spans 204 m long.

The all-steel deck is formed of an orthotropic box girder 27.75 m wide suspended from seven towers, likewise of steel, by 7 x 2 axial bundles of 11 stay cables. The streamlined deck is 4.20 metres high.

The structure, which includes two piers more than 200 metres high (P2 : 245 m and P3 : 221 m), the highest in the world today, is designed to resist winds of more than 205 km/h and is provided with screens to protect the users against side wind.

The present article describes the major stages in construction of the piers and deck two years after the publication of the concession decree.

RESUMEN ESPAÑOL

Construcción de los estribos y lanzamiento del tablero del viaducto de Millau

J.-P. Martin, M. Buonomo y Cl. Servant

El viaducto de Millau corresponde a una estructura del tipo de venteados múltiples de una longitud total de 2.460 m que consta de seis tramos corrientes de 342 m de luz y dos tramos extremos de 204 de luz.

El tablero, totalmente metálico, está formado por un cajón ortotrópico de 27,75 m de anchura, suspendido mediante siete pilas también metálicas por 7 x 2 capas axiales de 11 tirantes. La altura del tablero, de formas aerodinámicas es de 4,20 m. La estructura, que consta de 2 pilas de más de 200 m de altura (P2 : 245 m y P3 : 221 m), son las más altas del mundo en la actualidad, y su diseño está proyectado para resistir a vientos de más de 205 km/h y está dotada de pantallas de protección de los usuarios contra vientos laterales. En el presente artículo se describen las principales etapas de la construcción de las pilas y del tablero, dos años después de la publicación del decreto de concesión.

A20 - Le viaduc du Lot et de La Garenne

La construction de deux ouvrages

Vue générale de la tranchée couverte de La Garenne et du viaduc du Lot

General view of the La Garenne cut-and-cover tunnel and the Lot viaduct



© Kachina images

L' autoroute A20 Montauban-Brive traverse une des régions de France particulièrement réputée pour ses paysages et son patrimoine : le Lot.

Parmi les temps forts du parcours figurent sans conteste les traversées des vallées qui entaillent d'est en ouest les causses du Quercy, et tout particulièrement celle de la rivière Lot.

Dès les premières étapes de la concertation, le site envisagé pour ce franchissement, situé à sept kilomètres à l'est de Cahors, a suscité une contestation tenace et d'importantes difficultés environnementales et administratives.

Il est vrai qu'il cumulait les contraintes inhé-

rentes à l'habitat résidentiel, à l'agriculture de haut rapport, à l'hydraulique, à la navigation sur le Lot et, surtout, à la présence d'un monument inscrit, le château d'Arcambal, posé en sentinelle au débouché de la combe empruntée par le tracé.

Prévu initialement à l'air libre lors des études d'avant-projet sommaire, le passage au droit du château a évolué, après enquête et déclaration d'utilité publique, vers une solution enterrée à l'entrée de la courbe dans la colline qui lui fait face. Dès lors, c'est l'ensemble des deux ouvrages : viaduc de franchissement de la vallée, passage en souterrain au droit du château qu'il convenait d'optimiser aux plans architectural, paysager et technique.

Les discussions d'une part avec l'architecte des Bâtiments de France et le ministère de la Culture, d'autre part avec les riverains ont été particulièrement âpres et longues. Pas moins de deux ans ont été nécessaires pour étudier les nombreuses solutions envisagées, requérant des outils de présentation très élaborés, en particulier "d'imagerie".

Au final, le parti retenu est constitué du nord vers le sud d'un viaduc mono-tablier à ossature mixte et larges encorbellements, franchissant toute la vallée du Lot, immédiatement suivi d'une tranchée couverte d'environ 150 m, qui permet de reconstituer au plus près la colline qui forme le fond de paysage du château.

Le viaduc conçu par les architectes Morris et Renaud, en étroite concertation avec l'ABF, a pris le parti de la discrétion et de la transparence dans le paysage de la vallée, par notamment la couleur sombre des piles et de la sous-face du tablier qui affine et fluidifie sa silhouette. Il est doté d'un écran antibruit en verre sur sa rive Est.

Les têtes de la tranchée couverte ont été dessinées par l'architecte Charles Lavigne, le traitement paysager a été conçu par le paysagiste Alain Cousseran. Pendant les travaux, le plus grand soin a été apporté à la préservation de la végétation existante en pied de colline.

La maîtrise d'œuvre technique de l'ensemble des ouvrages a été assurée par Scetauroute.

Respectueux du site et de ses habitants, le franchissement du Lot et d'Arcambal offre de plus, dans les deux sens de circulation, une vision intéressante du château et de la vallée, agrémentant ainsi le parcours du voyageur en lui donnant à voir un échantillon remarquable de la richesse paysagère et patrimoniale de la région.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France

Maitre d'œuvre

Scetauroute

Viaduc du Lot

- Cabinet d'architectes : Charles Morris, Antoine Renaud, D. Naert, M. Mayeur
- Entreprise mandataire : Dodin (fondations, appuis et hourdis béton)
- Co-traitant : Baudin Chateauneuf (charpente métallique)

Tranchée couverte de La Garenne

- Cabinet d'architectes : Charles Lavigne
- Cabinet d'architectes paysagistes : Signes
- Entreprise mandataire : Guintoli
- Co-traitants : Maia Sonnier/GTS/Demathieu & Bard



Gilles Calas

DIRECTEUR D'OPÉRATIONS A20 DE 1994 À 2001
Autoroutes du Sud de la France (ASF)

la tranchée couverte

contigus

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE (figures 1 et 2)

Le 26 juin 2003, Autoroutes du Sud de la France (ASF) a mis en service avec six mois d'avance le dernier maillon d'un nouvel axe européen entre l'Europe du nord et la péninsule ibérique : la section Cahors sud – Cahors nord de l'autoroute A20 Montauban – Brive.

L'autoroute A20 Montauban – Brive d'un linéaire de 130 km prolonge la partie Vierzon – Brive réalisée par les services de l'Etat. Elle offre ainsi une nouvelle voie de communication de haute qualité au centre du pays et contribue au désenclavement de la façade ouest du Massif Central en répartissant les grands flux de transit nord-sud concentré dans le couloir rhodanien.

Cet itinéraire traverse sur trois départements : la Corrèze (4 km), le Lot (93 km), le Tarn et Garonne (33 km) et 48 communes.

La construction des 130 km de cette autoroute déclarée d'utilité publique par décret en date du 31 mai 1994 et les travaux lancés en 1995, a été programmée en quatre sections mises en service au fur et mesure de leur achèvement :

- ◆ Montauban (extrémité nord de la rocade) – Cahors sud : longueur 40 km mis en service le 10 juillet 1998 ;
- ◆ Cahors sud – Cahors nord : longueur 22 km mis en service le 26 juin 2003 ;
- ◆ Cahors nord – Souillac : longueur 46 km mis en service le 13 juillet 2001 ;
- ◆ Souillac – Brive (extrémité sud de la déviation de Noailles) : longueur 22 km mis en service le 5 février 1999.

La section autoroutière Cahors sud – Cahors nord comporte trois ouvrages d'art particuliers : la tranchée couverte de Constans (375 m) sur la commune de Valroufié et un ensemble constitué par la succession du viaduc de franchissement du Lot (534 m) et de la tranchée couverte de La Garenne (165 m et 135 m) à environ 7 km à l'est de Cahors.

Le viaduc du Lot et la tranchée couverte de La Garenne

L'autoroute franchit le lit mineur du Lot et sa large plaine inondable (450 m) sur la commune de Lamagdelaine en rive droite pour pénétrer en direction du sud dans la combe du Tréboulou sur la commune d'Arcambal, en rive gauche.

L'équilibre de ce site naît de la confluence du Lot et du Tréboulou et de l'effet de porte du relief en-

vironnant marqué par la présence du château d'Arcambal, monument inscrit à l'inventaire supplémentaire des Monuments historiques.

La vallée du Lot bordée de falaises marque une rupture physique et visuelle entre la combe du Tréboulou au sud et les causses au nord. La combe du Tréboulou, quant à elle, est une petite combe orientée nord-sud où apparaît une trame agricole et bocagère étroite en fond de vallée.

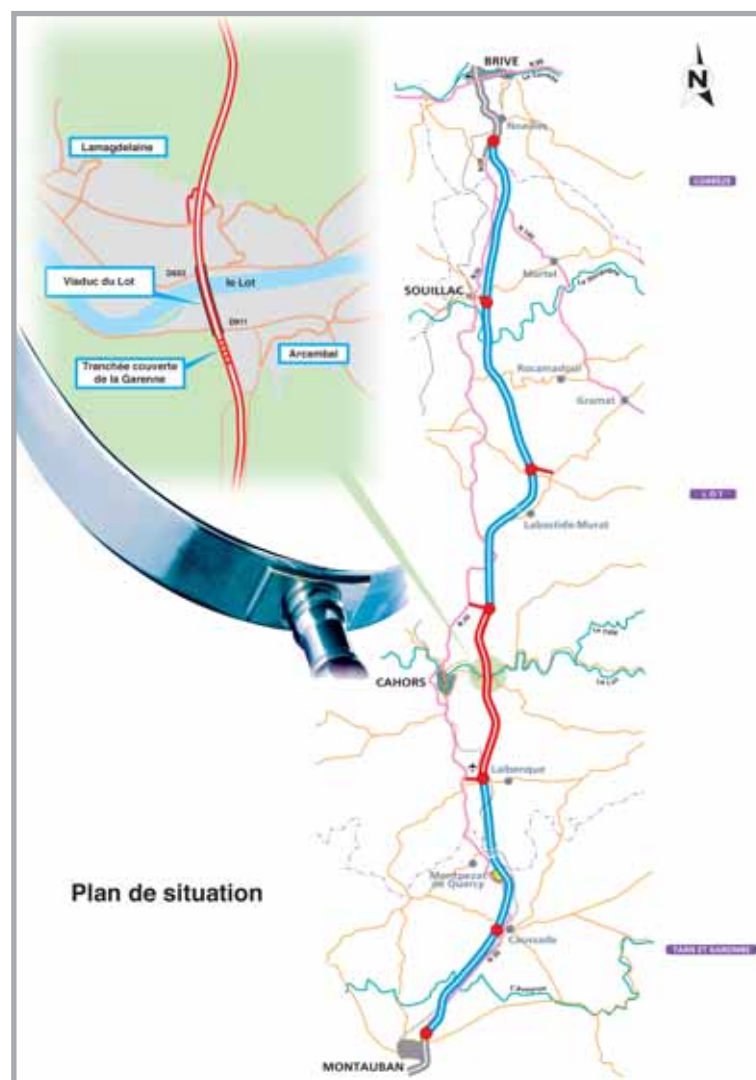


Figure 1
Plan
de situation
Location drawing

C'est dans ce cadre que les engagements de l'Etat en faveur de l'environnement ont retenu une solution enterrée à l'entrée de la vallée du Tréboulou sur le lieu-dit "La Garenne" avec le tracé calé à l'ouest de la bande de 300 m dans laquelle doit s'inscrire l'autoroute, pour tenir compte du périmètre de protection (500 m) du château d'Arcambal et des diverses observations formulées dans

Gilbert Briquet

DIRECTEUR
D'OPÉRATIONS A20
Autoroutes du Sud de la France
(ASF)



Jack Boutineau

DIRECTEUR PROJET
Scetauroute



Patrice Adier

CHARGÉ DE MISSION
OUVRAGES D'ART
NON COURANT
Scetauroute



► le cadre de l'enquête publique et de l'instruction mixte à l'échelon central. La qualité exceptionnelle de ce site et la présence du château d'Arcambal ont conduit ASF à porter une attention particulière à l'aspect paysager. Les principes d'aménagements paysagers et architecturaux ont eu pour objectif d'intégrer l'infrastructure autoroutière par rapport aux éléments constitutifs des paysages traversés, tout en préservant et valorisant les paysages aux abords du projet. L'"imagerie", concept d'imagerie virtuelle interactive développée par ASF sur l'autoroute A20 a permis de disposer d'un support déterminant pour "peaufiner" l'intégration de ces ouvrages dans leur environnement.

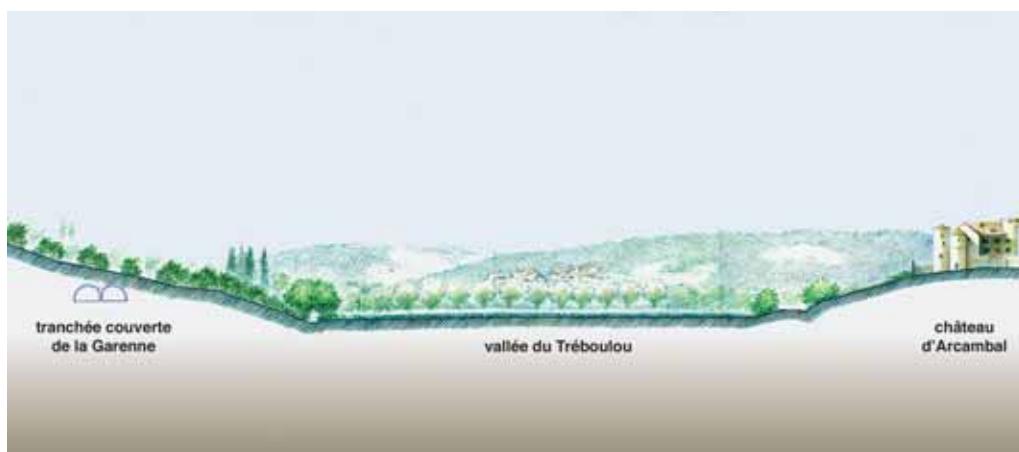


Figure 2
Vue en coupe de la vallée du Tréboulou au niveau du château d'Arcambal

Cross-section view of Tréboulou Valley at the level of Arcambal chateau

Les contraintes environnementales

Le Lot

Afin de ne pas perturber la navigation de plaisance sur le Lot, atout touristique de la région, le maître d'ouvrage a imposé aux entreprises soumissionnant des conditions d'accès aux piles en rivière par estacades alors que les études hydrauliques et l'arrêt pris au titre de la loi sur l'eau autorisaient la réalisation d'avancées en remblai. D'autre part, bien que non classé actuellement voie navigable, il a été demandé par les services de l'Etat pour préserver l'avenir de prendre en compte pour le dimensionnement des appuis en rivière le choc de bateau correspondant à la classe B du BPEL.

Les routes départementales RD911 et RD653

- La RD911 longe la voie ferrée au sud de la plaine rive gauche du Lot ;
- la RD653 longe le Lot en rive droite à flanc du coteau nord.

Ces deux routes départementales sont maintenues en place avec un gabarit vertical à dégager de 4,50 m.

La ligne de chemin de fer Cahors – Capdenac

La ligne de chemin de fer touristique Cahors – Capdenac, est située au sud de la plaine du Lot sur un remblai d'environ 6 m. Le tirant d'air sous tablier

de 4,40 m demandé par RFF a calé la ligne rouge de l'autoroute.

Géotechnique

La vallée du Lot

La vallée du Lot est schématiquement composée d'une couverture alluvionnaire (mélange de galets, graviers, sables et limons) de 7 à 9 m d'épaisseur s'approfondissant jusqu'à 15 m au milieu de la vallée. Cette couverture alluvionnaire surmonte un substratum constitué des calcaires du kimméridgien inférieur, calcaires qui sont affleurants en fond de lit du Lot.

Les reconnaissances géotechniques préalables avaient mis en évidence pour ces calcaires une dureté importante avec des résistances en compression ayant atteint 60 MPa et la présence d'anomalies karstiques en amont de la culée nord et dans la plaine à proximité de la berge. Le risque karstique apparaissait toutefois faible, sur la centaine de sondages réalisés, seuls quelques sondages avaient mis en évidence des anomalies qui seront d'ailleurs retrouvées lors des travaux.

La combe du Tréboulou

Au droit d'Arcambal la géologie se présente sous la forme d'une couverture plus ou moins épaisse de limons et cailloutis sur un toit de calcaire karstifié.

La butte de La Garenne

Le massif de La Garenne est composé de divers faciès du kimméridgien en formations tabulaires subhorizontales. Plus bréchique et calcaire à la base, la formation devient plus marneuse vers le sommet. La butte est lithologiquement et structuellement assez complexe avec association de styles tectoniques souples et cassants.

En pied du versant Est du massif, on rencontre le substratum marno-calcaire recouvert dans sa partie nord par des formations de pente (castines) d'épaisseur comprise entre 5 et 10 m.

Le patrimoine

Les ouvrages s'inscrivent dans le périmètre de protection du château d'Arcambal. Le respect de ce voisin de marque a conduit le maître d'ouvrage à associer l'architecte des Bâtiments de France à toutes les phases d'élaboration du projet, du concours sur esquisses destiné à retenir les cabinets d'architectes auxquels ont été confiées les études architecturales des ouvrages, jusqu'aux travaux en participant au choix de teinte et texture des parements béton des appuis, et de la couleur de la charpente métallique du tablier et des équipements du viaduc.

Il est à noter que les travaux ont été précédés de fouilles archéologiques, la combe du Tréboulou abritant des sites d'habitat du paléolithique et de l'âge du fer.

Les contraintes géométriques

Le projet de l'autoroute au droit d'Arcambal se trouve dans un site où la géométrie est très fortement liée aux difficultés de calage du tracé de part et d'autre. Le tracé doit respecter les contraintes géométriques suivantes :

- ◆ l'ICTAAL, pour une catégorie L120 ;
- ◆ les distances de visibilité minimum, en particulier à l'intérieur du tunnel ou de la tranchée couverte. C'est-à-dire une visibilité au moins égale à la distance d'arrêt qui est de 230 m pour une vitesse de 120 km/h ;
- ◆ un bon enchaînement des rayons, surtout pour le sens Brive – Montauban, où l'on a une pente d'environ 5 % sur plusieurs kilomètres avant de déboucher dans la vallée du Lot ;
- ◆ des éléments géométriques "superposables" en plan et profil en long (courbure constante dans l'espace) au droit du viaduc du Lot afin de laisser ouvert à toutes les techniques la construction de l'ouvrage ;
- ◆ une pente minimum de 0,5 % à l'intérieur des tranchées ou tunnel, afin que l'écoulement des eaux soit satisfaisant ;
- ◆ pas de point bas à l'intérieur de la tranchée couverte ou du tunnel ;
- ◆ pente résultante supérieure à 0,3 % dans les zones de variations de dévers.

Les solutions étudiées

De façon à relativiser le poids économique de l'ouvrage de couverture ou du tunnel au droit d'Arcambal et pour appréhender pour chaque solution les différences concernant la géométrie du tracé (aspects sécurité et confort), l'étude a porté sur l'ensemble du tronçon influencé par les différentes solutions. Ainsi, au sud, l'origine du tronçon étudié est le PK 12, au nord, son extrémité au PK 16 est situé immédiatement après la tranchée de Larrenguede. Les solutions suivantes ont été étudiées :

1. Solution initiale de référence APS à l'air libre (cette solution ne prenait pas en compte les réserves du Conseil d'Etat dans la DUP) évaluée avec les prix de l'APS ;
2. Solution APS modifiée avec la prise en compte des contraintes hydrauliques (P.H.E.) et de voie ferrée (abaissement de la voie susceptible d'être accepté par la SNCF), et réévaluée avec les prix de l'APA ;
3. Solution tunnel (deux tubes chaussées séparées) onéreuse et moins sûre pour l'utilisateur ;
4. Solution tranchée couverte respectant les engagements de l'Etat pour le calage du tracé en rive droite et en rive gauche du Lot. Elle avait les caractéristiques suivantes : la tranchée couverte d'une longueur d'environ 450 m était constituée par une structure en double conduit voûté béton armé présentant chacun des largeurs roulables de 9,50 m bordées de trottoirs de 1,00 m. Le tube Est comprenait une surlargeur complémentaire de 0,70 m

afin d'assurer la visibilité pour une vitesse de 120 km/h. Le TPC est de 2,50 m avec la présence d'un piédroit central. La géométrie de l'autoroute avait été calée de façon à ce que la couverture minimale sur ouvrage soit de 1,50 m (selon le talus actuel du versant). Ce calage conduisait à des terrassements importants dans le massif de La Garenne, jusqu'à 30 m de haut. Afin de minimiser au mieux l'impact de ces terrassements, il était prévu des talus raidis (1 de base pour 5 de haut) nécessitant la mise en œuvre de soutènements :

- ◆ par parois cloutées dans la partie sud de la tranchée (L \approx 230 m) compte tenu de la nature des terrains rencontrés (marno-calcaires) ;
 - ◆ par parois cloutées et en partie par murs ancrés avec tirants actifs du fait de la présence de formation de pente (castines) dans la partie nord de la tranchée (L \approx 220 m).
- C'est la solution tranchée couverte répondant le mieux aux contraintes techniques, économiques et environnementales qui a été retenue. Plusieurs variantes de tracé et de longueurs (100 à 150 m) ont été étudiées pour pallier les inconvénients suivants :
- ◆ distance de visibilité trop faible dans la tranchée couverte, ce qui nécessitait une surlargeur dans l'ouvrage ;
 - ◆ aspect paysager du recouvrement de la tranchée et déboisement important du versant.

Les solutions retenues

La tranchée couverte de La Garenne

Le projet a fait l'objet d'une concertation approfondie à tous les niveaux tant avec les administrations concernées qu'avec les collectivités riveraines sur de nombreuses variantes. Un dossier d'insertion paysagère a été soumis au droit d'évocation de la Direction des Routes.

L'optimisation du projet tant pour respecter les engagements de l'Etat en faveur de l'environnement qu'en matière d'intégration et de co-visibilité avec le château d'Arcambal, a retenu en octobre 2000 une tranchée couverte d'un linéaire de 165 m pour le tube ouest et 135 m pour le tube Est, calée à l'Ouest de la bande des 300 m dans laquelle l'autoroute doit s'inscrire.

Elle est prolongée au sud par un talus raidi à 1H/5V de 9 m de hauteur maximum revêtu de parements architecturés et surmontés par un talus à 3H/2V végétalisé et planté pour qu'à l'échéance de 10-15 ans l'ensemble retrouve son couvert végétal et un aspect similaire à celui d'origine.

Les caractéristiques géométriques du tracé de l'autoroute au droit de la tranchée sont :

- ◆ un rayon de 1 500 m dans la partie non couverte ;
- ◆ une clothoïde A = 600 m sur 240 m dont 95 m en partie couverte : tube ouest ;
- ◆ une clothoïde A = 800 m sur 355 m dont 35 m en partie couverte : tube Est.

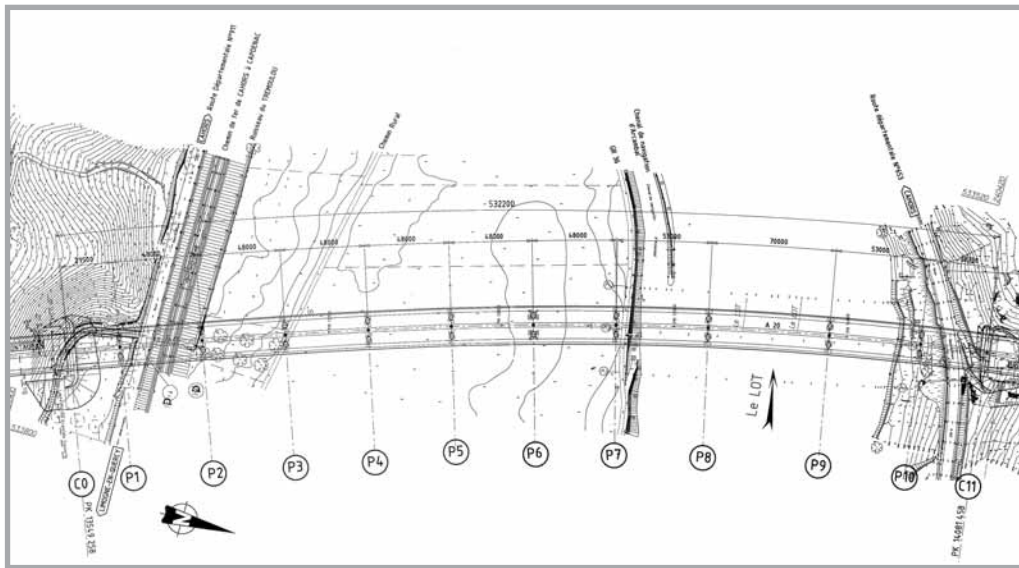


Figure 3
Vue en plan
Plan view

► Le profil en long présente une pente de 0,85 % dans le sens Brive – Montauban. La visibilité est assurée dans les deux tubes pour une vitesse de 120 km/h.

Le viaduc du Lot

D'un linéaire de 240 m à l'avant-projet sommaire (APS), le viaduc du Lot pour répondre aux dispositions particulières de la loi sur l'eau et aux souhaits exprimés par les riverains et les élus dans le cadre de la concertation locale est passé à 532,20 m. Cette longueur permet de franchir la totalité de la vallée du Lot sans remblai intermédiaire. L'ouvrage offre ainsi une transparence quasi totale aux crues (remous < 4 cm) et n'est pas pénalisant pour les cultures maraichères situées dans la plaine. Les architectes Charles Morris et Antoine Renaud, ont voulu un projet qui dégage une impression d'unité, de régularité et d'équilibre, le franchissement de la vallée par le viaduc s'accomplissant en toute discrétion et transparence. L'implantation des appuis déterminée par la maîtrise d'œuvre en fonction des contraintes jalonnant la brèche s'inscrit dans cet esprit avec des travées régulières dans la plaine qui s'allongent au-dessus du lit mineur pour limiter les appuis en rivière à deux piles, suivant un rythme ample et serein s'intégrant à la sérénité qui émane du paysage. L'esthétique de la sous-face du viaduc a été étudiée avec un soin particulier. Pour compenser la massivité du tablier unique, l'ouvrage est bordé par des consoles en encorbellement et par des caniveaux détachés des rives. Sur la proposition de l'architecte des Bâtiments de France, l'architecte Charles Morris a composé une gamme de teintes très inhabituelle pour les piles, l'ossature métallique et le tablier : des gris foncés du type "anthracite" et "canon de fusil" afin de fondre l'ouvrage dans la végétation des berges, devant les couleurs claires de l'architecture locale.

■ LE VIADUC DU LOT

Le viaduc du Lot est situé sur les communes de Lamagdelaine et d'Arcambal. Il permet à l'autoroute A20 de franchir le lit mineur du Lot et sa plaine inondable, deux routes départementales, une voie communale, et la ligne de chemin de fer Cahors – Capdenac.

Description de l'ouvrage

Les données fonctionnelles

Au droit du viaduc, l'axe en plan de l'autoroute se développe, en allant du sud au nord, sur une clothoïde de paramètre 800 sur une longueur d'application d'environ 310 m, puis sur environ 230 m sur un cercle de rayon de 1 800 m (figure 3). Le profil en long, en allant du sud au nord, s'inscrit sur une pente unique à 0,95 % puis sur environ 70 m sur une parabole en angle rentrant de rayon 15 000 m. La ligne rouge est calée sensiblement 15 m au-dessus du terrain naturel dans la plaine et environ 19 m au-dessus du plan d'eau du Lot. Le profil en travers sur le viaduc se déduit de celui de la tranchée couverte de La Garenne : il est ainsi composé de deux chaussées de 7,00 m bordées de BAU de 2,00 m et séparées par un TPC de 2,50 m incluant un séparateur DBA. Le profil est en toit avec pente de 2,5 % pour chaque chaussée (figure 4).

Les fondations

Les piles à terre sont fondées sur une file unique de quatre pieux Ø 1 600 mm ancrés de 3 m dans le calcaire et travaillant en pointe comme l'ensemble des pieux de l'ouvrage. La pile P6 qui est le point fixe de l'ouvrage est assise sur une double file de quatre pieux Ø 1 200 mm. Les piles en rivière P8 et P9 sont fondées sur une file unique de quatre pieux Ø 1 800 mm ancrés de 5 m dans le substratum pour tenir compte d'une altération possible du toit du calcaire en fond de lit. La culée sud est fondée superficiellement dans le remblai autoroutier réalisé en matériaux R21 extraits du site et sélectionnés. L'édification du remblai est contrôlée par essais de plaques à chaque couche, ces essais de plaques sont corrélés en cours de construction par la réalisation d'essais pressiométriques. La culée nord est fondée superficiellement au toit du calcaire.

Les piles

La hauteur des piles varie entre 10 et 12 m dans la plaine rive gauche, et est de l'ordre de 20 m pour les piles en rivière. Chaque pile est composée de deux fûts de section elliptique, avec un grand axe de 3,70 m et un petit axe de 2,40 m. Cette section se rétrécit en tête pour recevoir un chapiteau

consistant en un empilage "d'ailettes" de 40 mm d'épaisseur et espacées de 160 mm. Sur proposition de l'entreprise cet habillage a été réalisé en composants fibres de verre. La section béton réduite en tête par cet aménagement impose un véringage de l'ouvrage sous pièces de pont.

Les culées

Les culées sont constituées par un simple chevêtre en béton armé de section rectangulaire. Les murs en retour sont suspendus au chevêtre et au garde-grève. Des murs ferment les parties sous encorbellement de façon à masquer la pénétration des caniveaux et chemins de câbles dans les chambres de tirage associées aux culées. Par homogénéité avec le traitement architectural des murs de tête de la tranchée couverte de La Garenne tous les parements vus en béton sont habillés de pierres du Lot sans joint apparent dans la tradition des constructions lotoises.

Le tablier

La longueur du viaduc est de 532,20 m se répartissant en 11 travées : 29,50 + 6 x 48,00 + 53,00 + 70,00 + 53,00 + 38,70. Le franchissement du Lot est marqué par les travées de longueur plus importante, 53,00 + 70,00 + 53,00, et par leur hauteur variable (figure 4).

De façon à ne pas multiplier le nombre d'appuis, ce qui aurait été à l'encontre de l'objectif de transparence souhaité, un tablier unique a été retenu. Le hourdis béton armé présente ainsi une largeur de 22,47 m pour une largeur roulable de 2 x 9,95 m. De type bipoutre mixte le tablier est constitué de deux poutres principales métalliques en profilés reconstitués soudés espacées de 12 m sur lesquelles est connecté le hourdis par l'intermédiaire de goujons Nelson. Les poutres principales sont régulièrement entretoisées par des pièces de pont formées de profilés reconstitués soudés suivant un espacement moyen de l'ordre de 3,70 m. Les larges encorbellements du hourdis sont soutenus par des consoles métalliques prolongeant les pièces de pont.

Le hourdis est réalisé en béton B35, son épaisseur est de 22 cm en partie courante, au droit des pièces de pont un renformis de hauteur comprise entre 10 et 27 cm lui donne son profil en toit.

La hauteur structurelle des travées "à terre" dans l'axe des poutres principales est constante, égale à 2,24 m pour une hauteur de poutre de 1,90 m. Celle des travées franchissant le Lot varie paraboliquement de 2,24 m à la clé à 3,34 m sur appuis. Comme indiqué plus haut, la volonté des architectes d'enrichir la perception de l'ouvrage vu du dessous, se traduit par des aménagements particuliers. Ainsi les corniches caniveaux ont été détachées du hourdis et sont fixées aux consoles métalliques prolongées au-delà du hourdis permettant le passage de la lumière entre le hourdis et la corniche

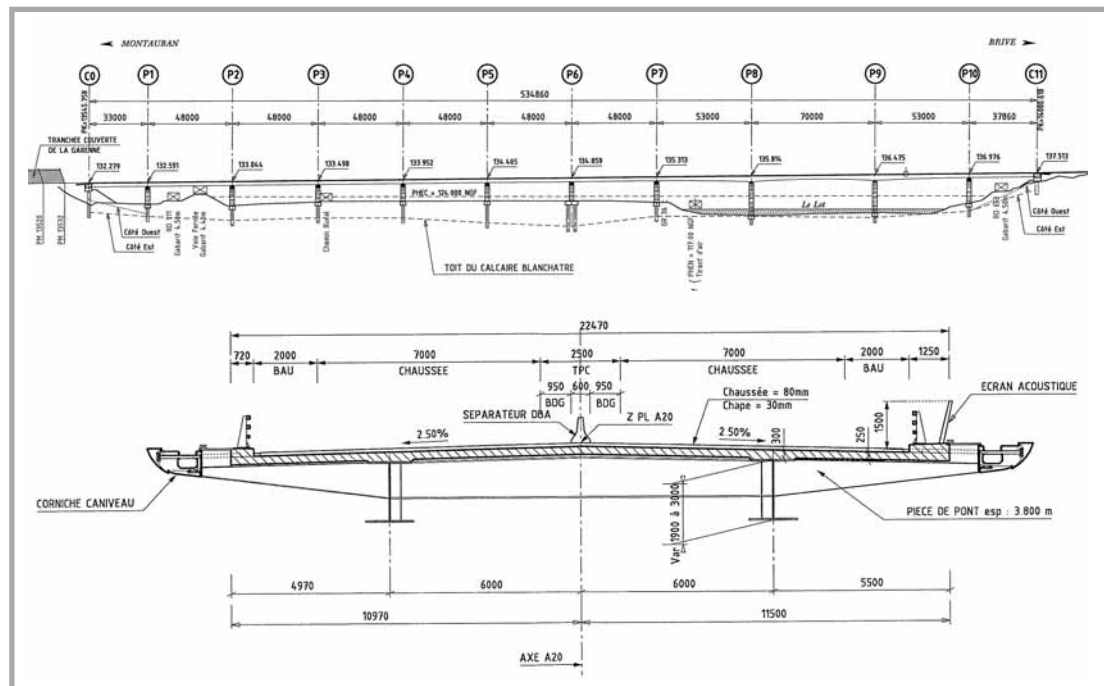


Figure 4
Coupe longitudinale
et coupe transversale
Longitudinal section
and cross section

caniveau. En extrémité de consoles des rehausses métalliques sont soudées à la semelle supérieure de façon à masquer les goulottes d'évacuation des eaux franchissant l'espace entre hourdis et caniveau intégré à la corniche.

Afin de joindre l'utile à l'esthétique, l'espace libéré entre hourdis et corniche a été appareillé d'un caillebotis pour être utilisé comme passage de service. Détail supplémentaire, la semelle inférieure des consoles est de largeur variable, s'amincissant progressivement jusqu'à la corniche.

La corniche métallique est large de 1,70 m avec une forme de bardage s'inscrivant dans la continuité de la semelle inférieure des pièces de pont. Cette largeur importante contribue à affiner la silhouette du tablier en repoussant au second plan les poutres principales de la charpente.

Dernière particularité, l'ouvrage est équipé sur sa rive Est d'un écran de protection phonique en verre de 1,50 m de hauteur destiné à préserver la tranquillité du hameau du Chantre dont les premières habitations sont situées à environ 200 m de l'ouvrage. Cet écran est prolongé de part et d'autre du viaduc, au sud jusqu'à la tranchée couverte de La Garenne, au nord jusqu'au déblai des Prats, assurant à la fois une continuité visuelle et acoustique de la protection.

La consultation et les travaux préparatoires

L'appel d'offres restreint a été lancé en décembre 2000, avec une solution de base correspondant à l'ouvrage décrit ci-avant à réaliser dans un délai de 24 mois, une variante obligatoire portant sur le délai ramené à 21 mois et une variante non obligatoire consistant en un ouvrage entièrement béton.

Photo 1
Les piles du viaduc en premier plan avec les estacades et la tranchée couverte en arrière plan

The piers of the viaduct in the foreground with the breakwaters and the cut-and-cover in the background



© Kachina images

ligne Cahors – Capdenac. Plusieurs solutions étaient envisageables, passage à niveau au droit de l'ancienne gare d'Arcambal, utilisation de passages inférieurs existants sous la voie, le choix des conditions d'accès a donc été laissé à l'initiative des entreprises en fonction des matériels qu'elles comptaient utiliser. Comme précisé dans son offre, l'entreprise Dodin réalisera son accès à la plaine par le passage inférieur le plus proche de l'ouvrage moyennant une reprise du profil en long de la voie rétablie pour libérer le gabarit nécessaire à ses transports et à ceux de Baudin Chateaufort. L'accès à la pile P10 implantée sur la berge rive droite en contrebas de la RD 653 était à réaliser dans le cadre du marché.

Les fondations

La reconnaissance géotechnique préalable avait consisté, dans l'emprise de chaque appui, en la réalisation de sondages destructifs complétés par des sondages pressiométriques et carottés dont l'objet était de définir un niveau de substratum et d'en préciser l'état de karstification. Au stade de l'exécution, des sondages destructifs ont été réalisés dans le cadre du marché au droit de chaque pieu précisément implanté préalablement au forage, afin de s'assurer de l'absence d'anomalie sous la pointe.

Les fondations sur pieux ont été réalisées suivant la méthodologie suivante :

1. Préforage et mise en place d'un tube de travail au vibrofonneur en alternance avec le forage ;
2. Forage dans les alluvions à la benne à câble, le plus souvent sous charge d'eau ;
3. Mise en fiche du tube de travail dans le substratum jusqu'à obtenir la "fermeture du tube" – absence d'apport sableux à la remontée des déblais rocheux ;
4. Ancrage de 3 m dans le calcaire à l'aide d'un trépan cruciforme guidé (6 t pour les pieux Ø 1 200, 10 t pour les pieux Ø 1 600 et 11 t pour les pieux Ø 1 800) ;
5. Curage du fond de pieu et nettoyage à l'air lift ;
6. Mise en place de la cage d'armatures ;
7. Bétonnage ;
8. Retrait du tube de travail ;
9. Recépage suivant le procédé "Recépieux".

Les 44 pieux de l'ouvrage ont été exécutés d'octobre 2001 à mars 2002.

Les faits marquants du chantier de fondation ont été les suivants :

Le forage d'un pieu de la pile P1 implantée en pied de la butte de La Garenne s'est heurté à un toit calcaire remontant avec une forte déclivité. Le trépan chassait au contact du pan rocheux incliné, le recours à un carottier a été nécessaire.

RFF s'est opposée dans un premier temps à l'usage du vibrofonneur et du trépan pour la réalisation des piles P1 à P4. Pour assouplir cette position l'entreprise justifia l'absence de nocivité de son



La solution de base était décomposée en un lot principal génie civil et un lot accessoire charpente. Le marché a été attribué avec application de la procédure combinée au groupement d'entrepreneurs conjoints Dodin pour le lot principal et Baudin Chateaufort pour le lot accessoire. Les offres remises pour la réalisation des travaux en 24 ou 21 mois étant économiquement équivalentes, le délai de 21 mois a été retenu par le maître d'ouvrage pour garantir l'ouverture de l'autoroute à fin juin 2003. Parallèlement à cette phase de consultation, un certain nombre de travaux préparatoires nécessaires à la réalisation du viaduc étaient lancés dans le cadre des marchés TOARC de part et d'autre de l'emprise du viaduc. Au nord : ouverture du déblai des Prats devant recevoir la plate-forme d'assemblage de la partie lancée de la charpente métallique. Au sud : déviation des réseaux d'irrigation, déviation définitive et rescindement du ruisseau du Tréboulou dont le lit intéressait le remblai d'assise de la culée sud et les piles P1 et P2, puis réalisation de la piste d'accès au pied du remblai d'assise de la culée sud.

Les principales phases de la construction

Les installations de chantier et les accès

Les installations de chantier principales du groupement et de leurs sous-traitants ont été implantées dans la plaine rive gauche au niveau des piles P4 à P6 conformément aux spécifications de l'arrêté loi sur l'eau qui interdisait l'implantation d'installations potentiellement polluantes à moins de 50 m des berges du Lot et du ruisseau du Tréboulou. En terme d'accès quatre secteurs, délimités par les voies de circulation existantes coupant l'axe de l'ouvrage, étaient à desservir. Les accès aux sites des culées et de la pile P1 étaient mis à disposition du groupement dans le cadre des marchés TOARC. Pour l'accès aux appuis dans la plaine rive gauche, l'obstacle à franchir était le remblai de la



© Kachina images

Photo 2
Batardeau P8 en cours de réalisation et batardeau amont en cours de descente

Cofferdam P8 undergoing construction and upstream cofferdam being lowered

matériel sur le remblai de la voie ferrée par une étude de vibrations. Finalement, seul le vibrofonneur sur la pile P2 demeura interdit. En lieu et place, les tubes de travail furent descendus par battage en surchargeant le tube du poids du trépan et laissés en place à la demande de RFF. Le suivi topographique ne mit en évidence aucune déformation du remblai.

Au droit de la pile P7, dès la phase de reconnaissance préalable il avait été détecté des anomalies karstiques ce qui avait conduit à prévoir un tubage définitif jusqu'au plancher de l'anomalie la plus profonde rencontrée. Lors des travaux, des difficultés ont été rencontrées au niveau de la fermeture du tube, avec des affaissements de terrain autour de la gaine, puis au niveau du bétonnage où des surconsommations ont été constatées à la base de deux pieux. Dans ce contexte, il a été procédé à des carottages de fond de pieu à l'intérieur des tubes d'auscultations qui ont mis en évidence la présence de dépôt, des sondages destructifs ont également été réalisés sous la pointe des pieux pour s'assurer de l'absence d'anomalie, ce qui fut le cas. Pour rétablir un contact béton substratum en fond de pieu satisfaisant, une injection en fond de pieux a été réalisée. Après analyse des observations faites en cours de travaux et des résultats des sondages complémentaires il est probable que l'origine des difficultés rencontrées s'est trouvée dans une fissuration verticale ouverte du massif non susceptible d'affecter la capacité portante de la fondation.

Enfin il sera constaté une déviation hors tolérance d'un pieu de cet appui qui nécessitera un renforcement de la zone d'encastrement semelle-pieu.

Les travaux en rivière

Le viaduc du Lot comprend deux piles en rivière, la hauteur d'eau est de l'ordre de 3 à 4 m. Deux estacades d'environ 50 m ont été construites depuis chaque berge. Les travées de 10 m de portée ont été réalisées en HEA 600 avec platelage bois jointif étanché pour prévenir toute pollution. Les lignes d'appuis étaient constituées d'une file de deux tubes métalliques ancrés de 1 m minimum dans le calcaire par surbattage et trépannage, contreventés et liaisonnés en tête par un chevêtre métallique. Au franchissement du chenal d'accès à l'écluse d'Arcambal l'estacade libère un gabarit de 10,00 m de large par 4,40 m de haut, le chenal est balisé par des bouées. Les estacades ont été réalisées à l'aide d'une grue de forte capacité mettant en place à l'avancement tubes porteurs, contreventements, chevêtre et voie de roulement depuis la travée précédente (photo 1).

Chaque pile a été construite à l'intérieur de deux batardeaux, un par fût. La difficulté résidait dans la présence en fond de lit du substratum calcaire qui n'autorisait pas la mise en place de solution traditionnelle. Aussi, dès la remise d'offres l'en-



© P. Adier

Photo 3
Fond béton armé des batardeaux
Reinforced concrete bottom of the cofferdams

treprise Dodin avait-elle prévu de "suspendre" les batardeaux aux gaines des pieux, technique qui présente le double avantage d'affranchir cet ouvrage provisoire des contraintes du terrain et de limiter les travaux en fond de lit ce qui minimise l'impact sur l'environnement.

Les principales phases du mode opératoire de construction des batardeaux sont décrites succinctement ci après (photo 2) :

1. Exécution des pieux, dont les gaines métalliques sont remontées provisoirement au niveau du platelage de l'estacade. Le recépage du béton des pieux, environ 5 m sous le niveau précédent, est exécuté à l'intérieur des tubes. Cette opération en milieu confinée est pénible et délicate, aussi le personnel se relaie et ne travaille pas plus d'une heure en fond de pieu et sous air renouvelé. Cette opération est d'autant plus longue que la hauteur de recépage est importante, la cote d'arrêt de bétonnage du pieu étant difficile à apprécier sous l'eau ;

2. Réalisation hors d'eau du fond béton armé du batardeau (photo 3) ;

3. Mise en place de l'enceinte en palplanches dans les réservations prévues dans le fond BA toujours en tête des gaines. Pose du dispositif de descente de l'ensemble consistant en un bâti métallique fixé à chaque gaine et des vérins creux avalant les tiges Diwidag de suspension des batardeaux ;

4. Descente de la boîte ainsi constituée jusqu'au niveau de la face inférieure de la semelle de liaison et mise hors d'eau.

L'étanchéité est assurée en pied de palplanches par injection de coulis de ciment. Autour des pieux l'espace annulaire entre la gaine et le fond BA est obturé par deux couronnes métalliques avec lèvres en caoutchouc (photo 4), une par face, le volume entre couronnes étant injecté au coulis de ciment.

Les piles

Les piles sont réalisées à l'aide de coques préfabriquées de 15 cm d'épaisseur formant coffrage. Leur hauteur courante correspondant au calepinage de l'architecte est de 2,50 m. Elles sont bétonnées par levée de 5,00 m. Chaque coque est



© P. Adier

Photo 4
Couronne d'étanchéité
Sealing ring

raidie par deux lits de deux tiges Artéon 23 mm dont les pieds d'ancrage sont noyés dans l'épaisseur des coques, donc non visibles, conformément au souhait des architectes.

La mise au point de la formulation du béton des coques et du traitement de leur parement a nécessité la réalisation de plusieurs éléments témoins de grande dimension, tous transportés sur site pour mieux jugés du résultat. La "palette" testée alla du ton clair "blanc cassé" au gris anthracite qui fit l'unanimité des architectes. Pour obtenir cette teinte, le béton est fabriqué avec des sables et gravillons très sombres provenant de la carrière d'Izaourt (65) et incorporation d'un colorant noir. Le parement fait l'objet d'un sablage fort destiné notamment à faire ressortir les inclusions blanches existantes dans les gravillons. Après sablage deux couches de résines acryliques sont appliquées en protection et pour raviver la teinte.

treuil mouflé de retenue de capacité 110 t. Le mouflage de retenue est ancré à un massif en béton, lui-même buté au rocher de la plate-forme. L'opération de lancement présente la particularité d'être réalisée sur la partie de l'ouvrage de hauteur variable. Le lancement est donc morcelé en plusieurs phases. La note de calculs justificative du lancement ne comprend pas moins de 234 cas de charges décrivant mètre par mètre l'avancement de la charpente, les phases d'accostage, vérinage, dévérinage, délestage d'appuis. Pendant la phase terminale de l'opération la charpente "survole" de plus de 2 m la pile P10, franchissant ainsi une portée de plus de 90 m et suscitant quelques interrogations du public venu assister au lancement (photos 5 et 6).

Dans la plaine la charpente est posée à la grue par tronçon de 30 à 36 m, les poutres principales sont posées l'une après l'autre, puis les pièces de pont, les consoles et enfin le bandeau d'extrémité supportant la corniche.

La fabrication de la charpente a commencé en novembre 2001, le premier tronçon a été livré sur site en janvier 2002, pour un lancement réalisé fin avril 2002, le chantier de la partie posée à la grue a débuté parallèlement en mars pour une livraison complète de la charpente en août 2002.

Le hourdis

La conception de l'outil coffrant utilisé reprend le principe des équipages "par en dessous" avec des passerelles circulant sur les semelles inférieures de la charpente pour transporter et manutentionner les plateaux coffrants. Deux outils coffrants ont été utilisés comprenant chacun :

- ◆ un jeu de plateaux coffrants métalliques permettant de réaliser un plot de longueur comprise entre 11 et 12 m ;

- ◆ une passerelle centrale circulant sur les semelles inférieures des poutres principales, cet outil transporte les plateaux et est équipé d'une table à ciseaux actionnée par vérins pour mettre en place et déposer les plateaux ;

- ◆ deux passerelles latérales circulant sur la semelle inférieure des poutres principales et sur un chemin de roulement soudé sur les rehausses architecturales des consoles, dans la partie à hauteur variable de la charpente un chemin de roulement fixé à la charpente parallèlement au chemin supérieur compense la variation de hauteur des poutres. Le ferrailage était partiellement préfabriqué en arrière de la culée nord, parties sous BN4, sur pièces de pont et poutres principales, les nappes supérieures et inférieures étant assemblées en place sur le coffrage, l'ensemble approvisionné par chariotage sur les poutres de la charpente.

Le hourdis a été bétonné suivant un phasage par "pas du pèlerin" respectant les recommandations du Setra en matière de limitation des contraintes de traction dans le béton. Pour procéder au décof-

Photo 5
Lancement
de la charpente
métallique
avec son avant-bec,
vue de la rive droite

Launching the steel
structure
with its launching nose,
view from the right
bank



© Kachina Images

La charpente métallique

La géométrie en plan de l'ossature métallique imposait sa mise en place selon deux techniques distinctes. De la culée C11 à la pile P7, le tracé en plan s'inscrit sur un cercle autorisant le recours au lancement méthode également la mieux adaptée pour assurer la mise en place au-dessus du Lot. L'éloignement des piles en rivière et la faible hauteur d'eau ne permettaient pas l'utilisation de grues ou pontons. De la culée C0 à la pile P7 l'ouvrage inscrit sur une clothoïde et la tranchée couverte de La Garenne directement en arrière de la culée C0 ont conduit à une mise en place par grutage.

La majorité des 34 tronçons a été acheminée par convois exceptionnels via Cahors, six tronçons parmi les moins lourds ont été approvisionnés par fer redonnant à la ligne Cahors - Capdenac sa vocation marchande perdue.

La partie lancée assemblée à l'arrière de la culée C11 représente une longueur de 244 m et une masse de 1 340 t y compris un avant-bec de 30 m. Le lancement est effectué à l'aide de deux treuils : un treuil mouflé de traction de capacité 100 t, un

frage l'entrepreneur a fait appel à la technique du contrôle de mûrissement du béton par radiométrie, la résistance minimale à obtenir était classiquement de 18 MPa.

La réalisation des 41 plots du hourdis s'est déroulée de juillet 2002 à octobre 2002, soit en moyenne un plot tous les 2 jours, pour les travées courantes de 48 m, les équipes et le matériel étant bien rodés, la cadence de réalisation des plots en travées atteindra un plot par 24 heures.

L'étanchéité

L'étanchéité est une feuille préfabriquée bitume élastomère adhérente au support. Elle a été mise en œuvre à l'aide d'une machine automotrice mise au point par Eurovia et Soprema assurant seule et dans un même passage le préchauffage du support, le déroulement de la feuille, sa soudure et le double marouflage. Cette automatisation a permis de réaliser les 11 000 m² d'étanchéité dans un délai très court de 2 semaines et dans de bonnes conditions, ce qui a été un avantage indéniable pour réaliser ces travaux à une période peu propice (fin novembre) où la moindre "fenêtre" météorologique doit être exploitée au maximum.

■ LA TRANCHEE COUVERTE DE LA GARENNE

La tranchée couverte de La Garenne est située sur la commune d'Arcambal dans la colline faisant face au château et dans la continuité du viaduc du Lot.

Description de l'ouvrage

Calage du projet

Sur le versant de La Garenne d'Arcambal le projet a été calé en déblai puis en tranchée couverte sur 130 m côté ouest et 100 m côté Est. Le déblai sur le versant Est présente les caractéristiques suivantes :

- ◆ côté sud-ouest : 350 m de longueur, hauteur maximale 25 m ;
- ◆ côté sud-est : 150 m de déblai en faible hauteur (environ 5 m) prolongé par un merlon ;
- ◆ côté nord : la tranchée débouche pratiquement dans le versant.

L'intégration du projet dans le site est assurée par :

- ◆ la limitation de l'emprise des terrassements sur le versant ouest de la partie en déblai ;
- ◆ les talus raidis, autant que possible, tout en conservant des bandes végétalisables qui ont été traitées pour cacher les parements bétonnés supérieurs ;
- ◆ les cunettes en déblai remplacées par des caniveaux pour diminuer la largeur de la plate-forme autoroutière ;
- ◆ le traitement architectural des talus ;

◆ le maintien d'une hauteur de talus de déblai au moins égale à 5 m dans le périmètre de protection du château y compris au droit du refuge. Cette disposition implique la construction d'un mur de soutènement ;

- ◆ la reconstitution du TN sur la tranchée couverte ;
- ◆ le respect de la loi 92.1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit et ses arrêtés d'application.

Les conditions de sécurité pour les usagers sont garanties par :

- ◆ les distances de visibilité et la qualité du tracé ;
- ◆ un éclairage de la partie couverte ;
- ◆ une étude de trajectographie afin de définir les profils des talus raidis à réaliser pour éviter les risques de chute de blocs sur la chaussée ;
- ◆ la stabilité au feu 2 heures des structures ;
- ◆ des dispositifs de récupération des matières dangereuses en vue de permettre l'autorisation de leur transit.

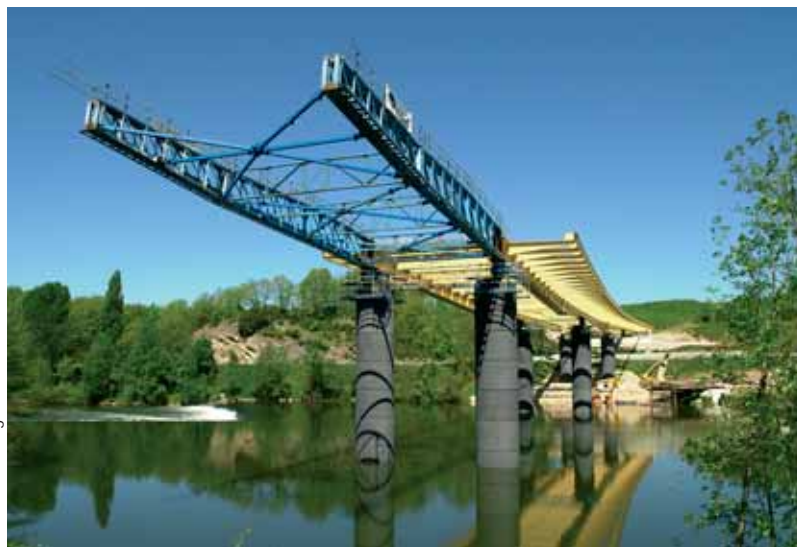


Photo 6
Lancement de la charpente métallique avec son avant-bec, vue de la rive gauche
Launching the steel structure with its launching nose, view from the left bank

© Kachina images

Le profil en travers fonctionnel est identique à celui des tranchées couvertes de Sol de Roques (section Cahors Nord – Souillac) et de Constans (section Cahors Sud – Cahors Nord). Pour chaque sens de circulation, le profil en travers type est le suivant :

- ◆ 1 trottoir droit de 1,00 m ;
- ◆ 1 bande d'arrêt d'urgence de 2,00 m ;
- ◆ 1 chaussée de 7,00 m à 2 voies de 3,50 m ;
- ◆ 1 bande dérasée gauche de 0,75 m ;
- ◆ 1 glissière de sécurité de 0,25 m à profil de GBA, intégrée au piedroit central.

La largeur roulable est de 9,75 m, ce qui permet, en cas d'arrêt d'un PL, de conserver deux voies de circulation à une vitesse de l'ordre de 100 km/h.

Dispositions générales

Talus ouest

L'analyse géologique montrait que la structure rocheuse du massif présentait un caractère plutôt favorable en regard de la stabilité générale du talus



© Kachina Images

Photo 7
Tranchée couverte
avant recouvrement
avec culée sud
du viaduc en premier
plan

*Cut-and-cover
before covering
with the southern
abutment of the viaduct
in the foreground*

LES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES

Viaduc du Lot

- Longueur : 534 m (11 travées du sud au nord : 1 x 31,5 m, 6 x 48 m, 1 x 53 m, 1 x 70 m, 1 x 50 m, 1 x 38,5 m)
- Largeur : 22,50 m : 2 chaussées BAU : 2 m, chaussée : 23 x 3,50 m, BDG : 0,95 m séparée par une DBA de 2 m
- Dévers en toit à 2,5 %
- Hauteur moyenne : 13 m
- Ecran acoustique translucide de 1,50 m en rive Est
- Volume en béton : 8000 m³ (B35)
- Tonnage acier (béton armé) : 1500 t
- Tonnage acier (charpente) : 3250 t
- Durée des travaux : 21 mois

Tranchée couverte de La Garenne

- Double voûte en béton armé de 165 m de long comprenant :
 - 1 tube ouest de 165 m
 - 1 tube est de 13 m
- Décalage des têtes de 18 m au sud et de 12 m au nord
- L'axe en plan s'inscrit sur une double clothoïde
- Le profil en long est une rampe de 0,9452 % du sud vers le nord
- Largeur : trottoir de 1 m + BAU de 2 m + chaussée 2 x 3,50 m + BDG : 0,75 m
- Dévers : chaussée en toit en 2,5 %
- Eclairage avec renfort
- Récupération des matières dangereuses par des caniveaux à avaloirs continus se rejetant dans des bassins de rétention communs avec la section courante
- Durée des travaux : 24 mois

de terrassement ouest. En effet, la stratification présente un pendage moyen général de 15 à 20° vers l'intérieur du massif.

Dans ce contexte, les surfaces d'instabilité potentielles étaient a priori plutôt guidées par la diaclasation des bancs calcaires, soit suivant des plans inclinés à $\approx 65^\circ$ en direction de l'Est et sortant des talus.

En conséquence, la partie supérieure du talus dont la pente retenue 2V/3H a été utilisée sans aucune difficulté.

Néanmoins on a procédé à un surminage du rocher sur une épaisseur minimale de 0,50 m afin d'assurer un profil de déblai régulier et permettre un bon ancrage de la terre végétale. De plus, pour faciliter les plantations ultérieures, au fur et à mesure du terrassement du talus des fosses d'environ 1 m³ ont été terrassées, repérées en X, Y et remplies de terre végétale pour les plantations d'espèces locales (type chênes verts...)

Les bancs marneux rencontrés ne présentaient pas d'altération marquée.

Pour limiter les risques d'altération dans le temps et pour la stabilité une protection des parements par béton projeté et treillis soudé a été mise en œuvre sur les 35 000 m² de talus :

- ◆ 42 t d'ancrage passif de 5 à 10 m de long ;
- ◆ 550 m³ de béton projeté ;
- ◆ 5 t de treillis soudés.

Pour ce qui concerne la stabilité superficielle des talus rocheux au droit de la tranchée couverte, des clouages ont été disposés pour garantir la stabilité locale des blocs rocheux en parement. Cette disposition a été complétée par une protection générale du talus au moyen de grillages flottants destinés à canaliser les blocs qui se décrocheraient du talus et à assurer la protection du personnel.

Talus Est

Lors de la concertation l'engagement pris était d'avoir une hauteur minimale de 5 m entre l'entrée en terre et le niveau de la chaussée de façon à masquer la circulation des véhicules dans le périmètre de protection du château d'Arcambal.

Ce talus se situe en bordure du versant dans des matériaux de couverture de consistance variable. Aussi la disposition prise a été la mise en œuvre d'un mur de soutènement de type Optimur voile préfabriqué associé à une semelle coulée en place.

Sur les deux murs, un parement architectural avec une matrice (Reckli) particulière de type "Cheyenne" a été mis en place. Cette matrice a la particularité d'avoir été fabriquée à partir du relevé d'une empreinte de 49 m² sur une paroi naturelle 7 m x 7 m ce qui a posé quelques problèmes de calepinage pour obtenir un rendu satisfaisant, le parement présentant une hauteur supérieure à la matrice de base.

Tranchée couverte

Choix de la solution

Compte tenu de la hauteur de terre sur l'ouvrage et la présence du rocher au niveau des fondations, la solution retenue a été une tranchée couverte en ouvrage voûté double sur semelle reposant sur le rocher (photo 7).

L'ouvrage est revêtu d'une étanchéité par géomembrane bitume-élastomère compartimentée, puis remblayée avec reconstitution de la topographie existante (photo 8).

Ouvrages liés à l'exploitation et à la sécurité :

- ◆ un local technique pour les équipements de sécurité associé à un refuge a été construit au sud-est de la tranchée ;
- ◆ un système de caniveau à fente pour la récupération des matières dangereuses ;
- ◆ des réservations sous trottoirs pour le passage des câbles divers et chambres de tirage.

Equipements d'exploitation et de sécurité

Etant donné sa faible longueur, l'ouvrage n'est pas soumis à l'application de la circulaire n° 2000-63 relative à la sécurité dans les tunnels routiers.

Toutefois pour maintenir une homogénéité pour l'usager et pour les services d'exploitation sur l'ensemble des ouvrages souterrains de l'autoroute A20, les équipements suivants ont été mis en œuvre :

- ◆ un éclairage à partir de luminaires équipés de lampes à vapeur de sodium haute pression d'une puissance de 20 à 50 W, avec un renforcement de l'éclairage diurne aux extrémités. Les niveaux d'éclairage étant de 70 lux en régime diurne et 35 lux en régime nocturne ;
- ◆ un couple de postes d'appel d'urgence à chaque tête ;
- ◆ une vidéo surveillance par caméra ;
- ◆ une signalisation de limitation de vitesse et des consignes d'allumage des feux ainsi que des feux d'affectation des voies ;
- ◆ un ensemble de batteries onduleurs de 15 min d'autonomie installé dans le local technique pour secourir les équipements de sécurité : signalisation, transmission, vidéo surveillance... en cas de panne d'alimentation électrique ;
- ◆ les informations recueillies concernant le fonctionnement des équipements de sécurité sont envoyées au poste de surveillance permanent du centre de contrôle de Brive qui assure la gestion de l'éclairage et déclenche les diverses interventions de secours, de dépannage ou de maintenance.

Organisation générale du chantier et méthode d'exécution

En raison de la coordination indispensable entre les terrassements de la section Cahors Sud/Lot et



Photo 8
Viaduc et tête nord
de la tranchée couverte
(travaux achevés)

*Viaduct and northern
end of the cut-and-cover
(works completed)*

© Kachina images

ceux de la tranchée couverte, la construction de cet ouvrage a été réalisée dans le cadre d'un lot accessoire du marché de TOARC (Terrassement, ouvrage d'art, rétablissement de communication).

Le déblai dans lequel est implantée la tranchée représentait un volume de 350 000 m³ soit pratiquement 10 % du volume des déblais de la section. Les contraintes de délai de réalisation de l'autoroute, les contraintes environnementales demandant de conserver un talus boisé côté ouest, la proximité de la culée du viaduc du Lot, le chantier de terrassement du déblai d'entrée sud de la tranchée, la construction des murs ont concentré sur une surface réduite une activité intense où le choix de la position et de l'évolution des pistes d'accès ainsi que l'organisation du chantier ont nécessité une coordination de tous les instants pour limiter les interfaces entre les chantiers et assurer la sécurité du personnel.

La méthode de construction de l'ouvrage est tout à fait classique. L'ouvrage comporte un joint de dilatation en moyenne tous les 25 m, les plots de construction ont une longueur de 6,25 m.

L'enchaînement des tâches a été le suivant :

- ◆ fouille des fondations, purges éventuelles en gros béton ;
- ◆ réalisation des semelles ;
- ◆ coffrage - bétonnage du piédroit central ;

- ◆ coffrage - bétonnage des voûtes et piédroits latéraux ;
- ◆ mise en œuvre de l'étanchéité ;
- ◆ remblaiement ;
- ◆ coffrage et bétonnage des murs de tête ;
- ◆ génie civil intérieur : trottoirs, collecteurs, fourreaux...

La cadence de réalisation moyenne a été d'un peu plus d'un plot de 6,25 m par semaine.

La durée de réalisation de l'ouvrage hors terrassements a été de 9 mois.

CONCLUSION

Le franchissement du versant de La Garenne ne présentant pas de difficulté technique majeure, toute l'énergie des concepteurs s'est portée sur la présentation de solutions en jouant sur le tracé des ouvrages pour concilier les engagements de l'Etat, les demandes des collectivités lors de la concertation tout en minimisant le coût et arriver finalement à proposer deux ouvrages contigus s'intégrant parfaitement dans le site.

ABSTRACT

The Lot viaduct and the La Garenne cut-and-cover. The construction of two adjacent structures

G. Briquet, J. Boutineau, P. Adier

On 26 June 2003, motorway operator Autoroutes du Sud de la France (ASF) commissioned the final link of a new European trunk road between Northern Europe and the Iberian Peninsula : the southern Cahors – northern Cahors section of the Montauban – Brive A20 motorway which passes through a region highly reputed for its landscapes and its heritage : the Lot region.

Among the highlights of the journey are undoubtedly the passage through the valleys cutting into the causses (limestone plateaux) of Quercy from east to west. And in particular the passage over the Lot River, where the river crossing, located seven kilometres east of Cahors, was subject to the cumulative constraints inherent in residential housing, very intensive agriculture, hydraulic structures, navigation on the Lot and, above all, the presence of a classified monument, the chateau of Arcambal.

This set of constraints led to optimised integration of two adjacent structures : the viaduct crossing the Lot Valley and the underpass at the level of Arcambal chateau.

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto del Lot y la trinchera cubierta de La Garenne. Construcción de dos estructuras contiguas

G. Briquet, J. Boutineau y P. Adier

La empresa Autoroutes du Sud de la France (ASF) ha puesto en servicio el 26 de junio de 2003 el último tramo de un nuevo eje europeo de comunicaciones entre Europa del Norte y la península ibérica, o sea : la sección Cahors sur - Cahors norte de la autopista A 20 Montauban - Brive, que atraviesa una de las regiones particularmente afamada por sus paisajes y su patrimonio : el Lot.

Entre las etapas más destacadas del recorrido figuran indudablemente las travesías de los valles que cortan de este en oeste las mesetas calcáreas del Quercy, y, especialmente aquella del

río Lot, o su franqueo, situado a siete kilómetros hacia el este de Cahors, en donde abundaban los imperativos derivados de las viviendas residenciales, de la agricultura de elevado interés económico, de la producción hidráulica, de la navegación en el río Lot y, sobre todo, de la presencia de un monumento famoso : el Castillo de Arcambal.

Este conjunto de imperativos ha dado lugar a optimizar la integración de dos estructuras contiguas : el viaducto que salva el valle del Lot y el paso subterráneo a la perpendicular del Castillo de Arcambal.

Un pont en arc mixte sur

Depuis le début des années 1990 la DDE de la Charente a engagé une politique volontariste pour promouvoir l'innovation dans le cadre des chantiers routiers tant au niveau de la réalisation des chaussées (expérimentation béton armé continu sur la RN 141) que des ouvrages notamment en développant l'usage du béton haute performance (BHP) dans la construction des ouvrages courants.

Bien que confrontée à un doublement du volet routier du contrat de plan (60 km de routes à 2 x 2 voies à mettre en service pour 2006 sur les RN 10 et 141), la DDE a souhaité poursuivre la démarche.

Un engagement fort a été pris de réaliser un tiers des ouvrages courants en BHP pour pérenniser son utilisation en Charente (cf. encadré "BHP. Une technique banalisée en Charente").

Mais c'est surtout le domaine des ouvrages non courants qui a fait l'objet d'une attention particulière. L'ouvrage de franchissement de la Charente à Jarnac par la RN 141 peut être à cet égard considéré comme emblématique.

Jean-Paul Dargon



Figure 1
Localisation des ouvrages
Location of structures

LE FRANCHISSEMENT DE LA CHARENTE PAR LA DÉVIATION DE JARNAC

A l'issue des études préalables, la DDE de Charente a retenu pour la déviation de la RN 141 entre le village de Bourras à l'Est, côté Angoulême, et le hameau du "bout des ponts" à l'ouest en direction de Cognac, le tracé contournant l'agglomération de Jarnac par le sud. En provenance des plateaux viticoles au nord-est de la Charente, le projet s'infléchit vers le sud-ouest en plongeant vers la vallée de la Charente, constituée en cet endroit de deux bras séparés par une île couverte de parcelles cultivées. Le tracé franchit la Charente puis remonte progressivement vers l'ouest (figure 1). Le fond de vallée abritant les communes de Gondeville et Mérienne constitue une zone fortement inondable chaque année. Les études ont montré la nécessité de réaliser deux ouvertures au sein des remblais envisagés en fond de vallée, pour garantir un état hydraulique équivalent à celui existant avant travaux. Une première ouverture de 100 m au minimum sur le bras principal "nord" en rive droite de la vallée, et une ouverture d'environ 360 m sur le bras secondaire "sud" de l'autre côté de l'île. Entre les deux, la déviation est prévue sur un remblai d'environ 500 m, sur toute la longueur de l'île, recouverte lors d'inondations. La hauteur moyenne de la chaussée au-dessus du terrain naturel est de l'ordre de 5 à 6 m. Un long viaduc franchissant l'ensemble ne présentait aucun intérêt au niveau hydraulique, du fait de l'existence d'un ensemble de voûtes de décharge à l'aval, portant la RN 141 actuelle et dont les faibles ouvertures forment barrage.

Deux ouvrages "non-courants" ont donc été réalisés sur cette déviation, en sus des huit rétablis-

sements courants par ponts-type : "ouvrage hydraulique bras nord" ou OHBN sur le bras principal, et "ouvrage hydraulique bras sud" ou OHBS sur le bras de décharge.

HISTORIQUE DES ÉTUDES

Dans le cadre du projet de la déviation de la RN 141, le Service des grands travaux de la DDE a procédé en décembre 1996 à un appel d'offres de bureaux d'études pour les études préliminaires de ces deux ouvrages non courants. A l'issue de son examen des diverses réponses, les propositions techniques d'Ingérop suggérant des structures tout béton ou mixtes avec utilisation de BHP, et la palette de propositions plus large du groupement SERF - Michel Virlogeux, ont retenu l'attention de la DDE. Celle-ci a demandé aux deux BE de se grouper pour réaliser une étude exploitant les diverses pistes de recherche de solutions innovantes ou classiques proposées dans leurs réponses.

Parallèlement, à l'issue d'un appel d'offres d'architectes, la DDE avait sélectionné le cabinet Alain Spielmann dont les esquisses proposées convergeaient avec les propositions techniques des deux BE.

La mission d'EPOA a donc été finalement confiée à une équipe Ingérop - SERF - M. Virlogeux - A. Spielmann. Cette étude préliminaire, balayant un grand nombre de solutions possibles pour les deux ouvrages, a conduit au choix par la DDE de deux solutions pour chaque ouvrage, en béton et en structure mixte. La différence de perception visuelle pour les deux ouvrages a conduit l'équipe de conception à proposer une solution plutôt architecturée et innovante pour le bras nord, et une solution plus classique pour le bras sud.

Ainsi la DDE a retenu d'étudier jusqu'au niveau DCE :

- ◆ pour l'OHBN, un pont continu de 143 m en BHP à quatre travées, dont un arc de 46 m sur la Charente, et dans le même esprit, un pont à quatre travées en dalle précontrainte en BHP supportée par un arc métallique en treillis tubulaire spatial, avec quatre plans inclinés convergeant 2 à 2, en travée principale. Finalement, seule cette solution mixte a été mise dans la consultation, avec accord de l'Inspecteur général Bois ;

- ◆ pour l'OHBS, un ouvrage continu de près de 400 m, soit en dalle précontrainte à deux nervures et pièces de pont et consoles, en BHP et construite à l'avancement, soit en bipoutre mixte à pièces

la Charente à Jarnac

de pont et consoles, de morphologie architecturale très proche.

Pour les quatre solutions, la chaussée à 2 x 2 voies était portée par un tablier unique, de largeur environ 24 m.

Les deux appels d'offres à un an d'intervalle ont abouti au choix du même groupement DV Construction et J. Richard Ducros, avec la solution mixte retenue pour l'OHBS.

■ BASES DE LA CONCEPTION DE L'OHBN

La conception d'ensemble de la solution mixte retenue

La nécessité d'une ouverture hydraulique de 100 m en pied de talus, et la dissymétrie de la brèche ont abouti à une longueur totale d'environ 143 m. En

BHP – UNE TECHNIQUE BANALISÉE EN CHARENTE

La DDE de la Charente s'est lancée depuis 1996 dans un programme de réalisation d'ouvrages d'art en bétons hautes performances (BHP).

Ce programme avait pour objet de produire pour le compte du maître d'ouvrage des ponts plus durables pour un surcoût modique.

Pour atteindre cet objectif, le Service des Grands travaux a procédé par étapes successives ; avec tout d'abord des études de faisabilité du BHP avec les matériaux locaux en 1996, puis des essais de béton B60 sur des parties cachées d'ouvrage d'art en septembre 1997.

Aujourd'hui, 18 ouvrages d'art sont réalisés en B60

La déviation de Chasseneuil-Taponnat sur la RN 141 à l'est d'Angoulême a servi de théâtre pour la construction d'un passage supérieur (PS 4) et d'un passage inférieur (PI 6). Ces ouvrages ont été attribués à deux entreprises locales : SNGC de l'Isle d'Espagnac (Charente) et Laurière de Mussidan (Dordogne). SNGC utilisait une formule avec du ciment Calcia et des matériaux calcaires du carrier GSM ; Laurière utilisait une formule avec du ciment Lafarge et des matériaux dioritiques du carrier Garandean. Les résultats furent comparables soit une moyenne de 70 MPa à 28 jours.

La déviation de Bourras-Jarnac sur la RN 141 à l'ouest d'Angoulême a fait l'objet des travaux de trois passages supérieurs (PS 3-4-5) entre avril 1999 et février 2000 par l'entreprise SNGC.

Sur la déviation de La Vigerie-L'Epineuil sur la RN 141 à Angoulême ont été construits deux passages supérieurs courbes (PS 26-27) de mars à novembre 2000 par SNGC.

C'est ainsi qu'ont été fabriqués 4 200 m² de B60 dont le coût moyen s'élève à 860,00 F HT/m³ soit une plus-value de 160,00 F HT/m³ par rapport à un B30, ce qui ne représente qu'une majoration de 2 à 5 % du coût total de l'ouvrage par rapport à une méthode traditionnelle.

Expérimentation de B80 : encore plus de résistance

La DDE a franchi une étape supplémentaire en 1999 avec la mise en chantier d'un passage supérieur pour la déviation de Chasseneuil-Taponnat (PS 8) en B 80 avec fumées de silice. Sa structure était calculée pour une résistance caractéristique de 60 MPa afin de bénéficier également d'un gain de matière, en appliquant le concept de pont-type retenu par la Direction des Routes à l'issue d'un concours, solution déjà mise en œuvre sur des ouvrages de la rocade Est de Bourges (Cher) ainsi qu'à Sens (Yonne), mais avec une dalle coulée en place au lieu d'éléments préfabriqués.

Le chantier s'est déroulé de septembre 1999 à janvier 2000. La quantité de B 80 coulée était de 460 m³ pour un prix unitaire de 1 050,00 F HT/m³. La moyenne des résistances à 28 jours est de 88 MPa avec un écart type de 4 MPa. Les 100 MPa ont été obtenus pour le tablier.

L'aventure continue

Satisfaite de ce matériau, la DDE 16 a poursuivi son action avec la construction de onze ouvrages d'art, deux sur la déviation de Chasseneuil-Taponnat, quatre sur la déviation de Bourras-Jarnac et cinq sur la déviation de Vigerie L'Epineuil.

Ainsi, à l'été 2003, près de 13 000 m³ de BHP auront été coulés avec dix-huit ouvrages en Charente sur une durée de 6 ans, permettant d'acquérir une compétence et de dynamiser l'utilisation de cette technique au plan régional.

Jean-Paul Dargon
IDTPE - CHEF ADJOINT DU SERVICE
GRANDS TRAVAUX
DDE 16

Arnaud Valadier
ITPE - CHEF SUBDIVISION ETN 3 -
SERVICE GRANDS TRAVAUX
DDE 16

Jean Mac Farlane
INGÉNIEUR EN CHEF
Ingérop

Jean-Pierre Grenery
DIRECTEUR DE TRAVAUX
DV Construction

Pierre Dugas
DIRECTEUR TECHNIQUE -
SERVICE PONTS
Ets. J. Richard Ducros

Michel Virlogeux
INGÉNIEUR CONSULTANT

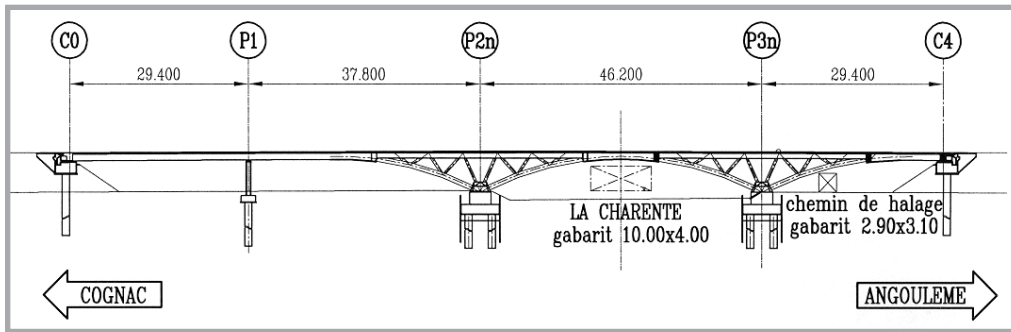


Figure 2
Coupe longitudinale
Longitudinal section

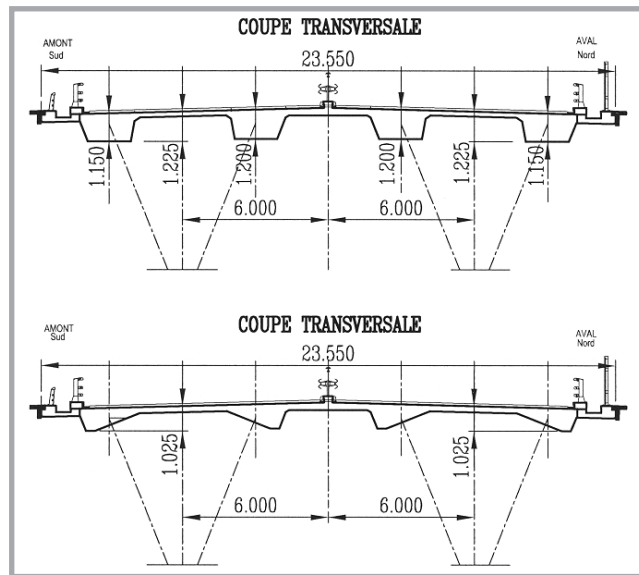


Figure 3
Coupes
transversales
Cross sections

► effet le franchissement se fait sur une courbe prononcée de la Charente, avec une berge talutée en rive droite, supportant les belles demeures bourgeoises traditionnelles du Cognac, et une berge plate et inondable constituée par l'île en rive gauche. Cette dissymétrie a conduit à considérer l'ouverture de 100 m à partir du bord droit de la Charente.

Le franchissement de la Charente sans appui intermédiaire conduit à une portée principale de l'ordre de 46 m. Selon le vœu du concepteur et de l'architecte, les piles adjacentes sont au contact de l'eau pour bénéficier du reflet complet dans "le plus beau ruisseau de France" comme disait le roi François 1^{er}. La Charente est naviguée par quelques bateaux de plaisance, pour lesquels la DDE a fixé un gabarit de 10 x 4 m en service et en travaux. Le profil en long est très bas pour limiter le volume des remblais adjacents. L'épaisseur disponible pour la structure n'est que d'environ 1,8 m au droit du rectangle de navigation.

Les équipements à prévoir comportent, outre les dispositifs de retenue routiers type BHAB et glissière centrale double à entretoises, des corniches caniveaux et un écran antibruit côté aval pour protéger la rive droite urbanisée. Pour la sécurité des agents de maintenance, il a été demandé de prévoir un garde-corps de service au-delà du caniveau côté amont, l'écran antibruit jouant ce rôle à l'aval. Pour éviter toute confusion dans la perception visuelle de l'ouvrage, compte tenu de l'ob-

jectif architectural fixé, la décision immédiate a été de rechercher un sous-multiple commun à l'espacement des divers supports verticaux de ces dispositifs, et de les aligner. Ce sous-multiple a été choisi à 1,40 m correspondant à l'espacement prévu pour les montants de BHAB.

Coupe longitudinale retenue

Dès lors, la conception de l'épure du treillis et des portées en découlaient : les intersections supérieures des diagonales du treillis ont été fixées à 5,60 m, pour un rayon de l'arc inférieur d'environ 49 m. Les portées ont été retenues comme multiples du module de 1,40 m précédent pour avoir des montants verticaux à l'aplomb des appuis. Finalement les portées ont été fixées de C0 en rive gauche vers C4 en rive droite à : 29,40 ; 37,80 ; 46,20 et 29,40 m. Le projet initial prévoyait un rescindement des berges, pour aligner les treillis sous chaque sens de circulation, sans biais.

La faible hauteur de structure disponible ne permettant pas de faire filer l'arc tubulaire sous la dalle à la clé, il a été décidé d'interrompre chacun des arcs des quatre plans inclinés, en venant les mettre en butée sur un noyau central en béton d'environ 18 m de long (figure 2). Sa coupe transversale est la même que celle des parties de tablier hors arc, à savoir quatre nervures sous dalle, de hauteur minimale environ 1,25 m passant à 1,65 m pour recevoir l'arc en butée.

Coupe transversale retenue

Hors arcs, le tablier est donc composé de quatre nervures trapézoïdales de hauteurs différentes pour s'accommoder de la dissymétrie des charges routières et d'équipements (figure 3). Elle varie longitudinalement d'environ 1,25 m à 1,65 au niveau des arcs, avec le même rayon d'environ 49 m. Sur arc, ce profil trapézoïdal est écorné, en conservant les alignements des faces extérieures vues, et en biaisant la face opposée pour permettre un ancrage des diagonales perpendiculaire aux plans inclinés des treillis. Cela donne des nervures quasiment triangulaires.

L'épaisseur de hourdis entre nervures est de 20 cm en partie courante, et de 25 cm sur arcs du fait de l'augmentation de portée transversale occasionnée par la réduction de section des nervures. L'ensemble est précontraint transversalement.

Appuis et fondations

Du fait de la présence d'alluvions superficielles au-dessus des couches de calcaire plus ou moins altéré, les fondations sont profondes. Les culées sont de simples chevêtres en béton appuyés sur une file de quatre pieux Ø 1 200. La pile intermédiaire est composée de deux fûts rectangulaires,

chaque fût reprenant les charges de deux nervures de tablier. Les deux fûts reposent sur une semelle commune appuyée sur une file de six pieux Ø 1 200. Les plans des quatre arcs métalliques convergent sur P2 et sur P3 sur deux plots massifs "en pointe de diamant" dont les faces sont perpendiculaires aux tubes Ø 800 des arcs et aux tubes Ø 400 des diagonales. Le dessin est volontairement minimaliste pour réduire l'impact visuel du massif de béton, mais s'est traduit par une complication sensible des coffrages (figure 4). Chaque plot, recevant symétriquement quatre arcs et quatre diagonales, est appuyé sur quatre pieux Ø 1 200 disposés en carré.

Les pieux et semelles de ces plots ont été prévus pour être réalisés à l'intérieur de batardeaux de palplanches uniques sur chaque rive.

Compte tenu de la sensibilité de la structure aux déplacements potentiels des fondations de ces plots, les calculs de dimensionnement ont été établis en considérant une "fourchette" de raideur en déplacements et en rotations, en fonction des sondages géotechniques.

Pour intégrer ces massifs à l'environnement, des enrochements et des fascines en bois étaient prévus entre les plots, et de chaque côté, en continuité d'un traitement d'ensemble des berges.

Le phasage de construction

Les premières analyses du comportement de l'ouvrage ont montré qu'une construction traditionnelle en édifiant la charpente, puis la dalle en appliquant ensuite la précontrainte n'était pas adaptée. La rigidité différente entre l'ossature métallique et les nervures en béton ne permettait pas de compter sur la précontrainte là où l'on en avait le plus besoin. Il a fallu recourir à une méthode où, une fois n'est pas coutume, il fallait commencer par la clé, avec sa précontrainte transversale et longitudinale, et les "clavages" en travées de rive : le maximum de précontrainte dans ces zones devait être appliqué dans ces schémas statiques "tout béton". Les arcs pouvant être posés en temps masqué, on échafaudait ensuite les dalles sur arc, en les assemblant à la charpente par connexion lors du coulage. Une précontrainte filante était ensuite appliquée, après mise en œuvre d'une précontrainte transversale sur toute la longueur du tablier.

Les arcs étaient à poser avec une articulation provisoire pour obtenir un maximum de tolérances géométriques et permettre une "compensation" par vérinage extérieur. Toutes opérations effectuées, ces arcs devaient être encastrés sur les plots de P2 et P3.

Du fait de l'association charpente et béton, on s'est rapproché du principe de calcul des ponts mixtes avec un calcul en deux étapes :

- ◆ "à court terme" où le béton est pris en compte dans le modèle 3D de calcul ST1 avec son modu-

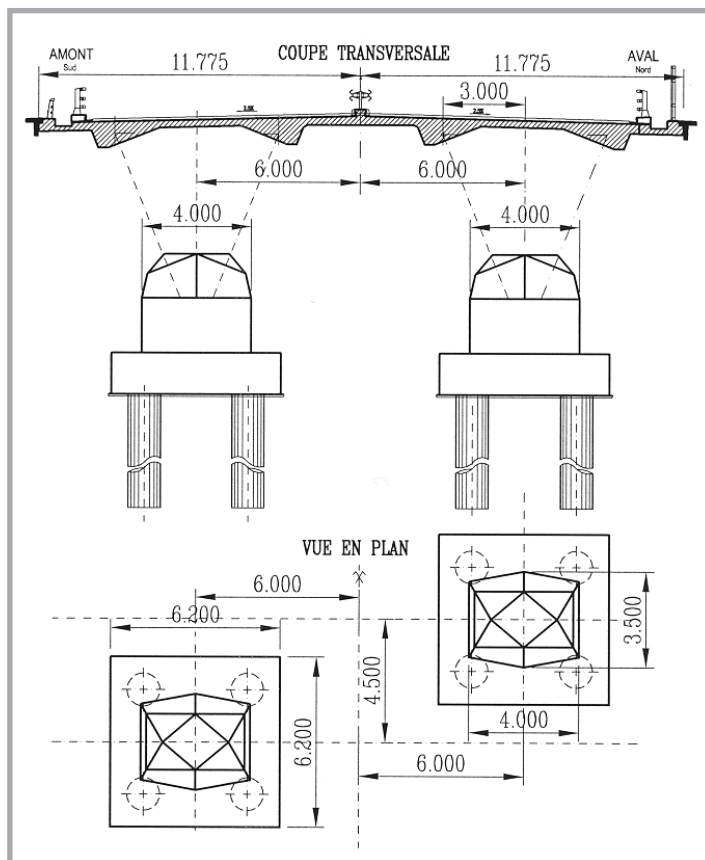


Figure 4
Appuis et fondations
des arcs

Arch supports
and foundations

le d'Young instantané conventionnel, pour l'ensemble des charges permanentes et transitoires appliquées après sa prise ;

- ◆ "à long terme" où les charges permanentes sont introduites dans un état du modèle correspondant au pseudo-module différé, pour couvrir les effets du fluage. Compte tenu du BHP, le coefficient d'équivalence "long terme" n'est plus de 18, mais de 15. Dans chaque étape, on ajoute la fourchette sur le retrait dans l'esprit du règlement des ponts mixtes. Chaque calcul est ensuite réalisé avec une fourchette sur la raideur du sol, en jouant sur le module de réactions, les pieux étant modélisés comme "poutres sur sol élastique". L'ensemble des justifications a donc été réalisé en enveloppe complète, sur huit calculs différents.

Pour limiter les redistributions d'efforts entre les nervures béton et les arcs dus au retrait et fluage du béton, il a été imaginé une "compensation" des arcs, à l'instar de ce qui avait été réalisé au pont d'Antrenas. Par vérinage, il faut surcomprimer les tubes inférieurs d'arc sur la Charente, et décomprimer ceux des travées adjacentes.

■ CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE RÉALISÉ

Le biais

Au cours de la mise au point du POA, le Service Navigation de la DDE a fait procéder à un recalibrage des berges, avec enrochements, indépendamment du projet de pont en cours. Le projet a donc dû être

Figure 5
Épure
d'un demi-arc
Working drawing
of a half-arch

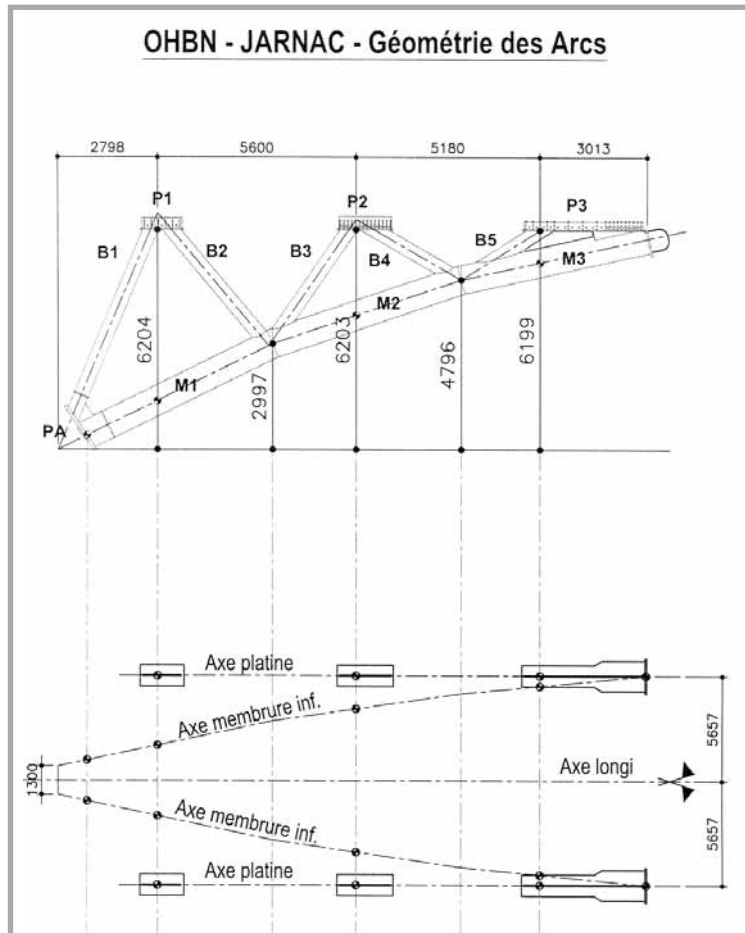


Figure 6
Découpage des tôles
de goussets
Cutting out of gusset
plates



Figure 7
Préparation
des chanfreins
Preparation
of bevels



modifié pour tenir compte des nouvelles berges, à considérer comme données imposées. Le franchissement devenait donc biais avec des lignes d'appui à 77 grades et en particulier en décalant les plots nord et sud sur P2 et P3 d'environ 4,50 m.

L'adaptation des épures – Standardisation des arcs

Du fait du profil en long dissymétrique par rapport au milieu de la travée principale, et du biais, les entreprises ont proposé d'adapter l'épure théorique des arcs pour les rendre tous identiques. Setec a donc optimisé les inclinaisons des arcs et joué sur des bossages d'épaisseur variable sur les platines supérieures, pour aboutir à 16 demi-arcs (figure 5) strictement identiques au niveau fabrication (à la symétrie près).

Le phasage retenu par l'entreprise

La complexité de l'ouvrage et les choix retenus lors de la conception ont conduit à retenir le phasage de réalisation avec la variante ci-dessous, visant à abandonner la "compensation" :

- ◆ construction et maintien des parties du tablier adjacentes aux zones sur charpente ;
- ◆ mise en place et maintien provisoire de la charpente ;
- ◆ réalisation des dalles sur charpente en indépendance totale, en laissant au droit des platines ;
- ◆ en extrémités des arcs et des diagonales des "empochements" permettant la connexion différée par une phase de bétonnage ultérieure ;
- ◆ mise en tension de la dalle du tablier, sans solliciter les arcs métalliques ;
- ◆ clavage des empochements de façon à connecter la dalle précontrainte aux charpentes ;
- ◆ décintrement de l'ouvrage, avec rotules provisoires en pied d'arcs sous forme de "plots plastifiants" type sections rétrécies de béton ;
- ◆ encastrement des pieds de charpente, par coulage d'une seconde phase de bétonnage des socles d'appui d'arcs.

Les calculs d'exécution

Comme demandé au CCTP, les calculs d'exécution réalisés par Setec ont considéré un modèle à barres 3D, avec barres béton et barres acier. Le fluage et le retrait du béton ont été introduits de façon "scientifique", en utilisant les lois du BPEL. Des sondages géotechniques complémentaires réalisés après le DCE ont permis de déterminer des enveloppes de caractéristiques pour les différentes couches de sol. Ces enveloppes ont donc fourni les "fourchettes de raideur" des fondations, considérées comme ressorts élastiques aux nœuds d'appui.

Compte tenu du recours au BHP, les abattements forfaitaires permettant les calculs avec la seule force de précontrainte conduisaient à des calculs trop pessimistes. Les calculs ont donc été réalisés "en double", avec les forces caractéristiques maximale et minimale, pour chaque hypothèse de raideur.

■ RÉALISATION DE LA CHARPENTE

Approvisionnement matières

La structure est constituée de tôles plates de diverses épaisseurs et de tubes circulaires roulés soudés. Les tôles plates sont de nuance S355K2G3 et S355N selon leur épaisseur, selon les normes NFE 10025 et NFE 10113. Les connecteurs soudés sont des goujons Nelson de 22 mm de diamètre et 250 mm de long en acier ST 37.3 K (norme DIN), et des boucles en barres carrées 30 x 30 en acier S235 J0 (norme NFE 10025).

Les tubes Ø 813 x 30 sont formés à froid selon la norme EN 10219 : roulage de la tôle mère, et soudure du joint longitudinal avec apport de métal.

Les tubes Ø 406,4 x 16 ont dû suivre une autre procédure, selon la norme EN 10210, pour éviter un trop fort écrouissage : roulage de la tôle mère à froid, soudure du joint longitudinal par forgeage sans apport de métal (soudage par haute fréquence à 1 400°), puis traitement thermique de recuit (au four à 580°) pour libérer les contraintes résiduelles.

Fabrication

Les structures tubulaires sont assez inhabituelles en ouvrage d'art et se rapprochent davantage de la construction de plates-formes offshore puisqu'elles sont constituées d'un assemblage de tubes dans l'espace. Leur complexité réside essentiellement dans leur assemblage.

Dans un premier temps, il convient de représenter les différentes intersections des tubes en trois dimensions, afin de définir les angles relatifs avec si possible des angles aigus supérieurs à 45°, tout en évitant ou en limitant le recouvrement des joints et le chevauchement des tubes.

Il faut impérativement raidir les nœuds pour éviter l'ovalisation du tube principal et éviter les déformations apparaissant lors du soudage. Ce raidissage est ici obtenu par des diaphragmes pleins ou en couronne et par des goussets plans traversants (figure 6).

Pour obtenir une précision suffisante pour l'acostage des pièces à assembler, une découpe soignée des chanfreins évolutifs a pu être réalisée avec les machines à découpe plasma ou laser, à commande numérique, et complétée par une reprise manuelle selon l'angle d'inclinaison, en par-



Figure 8
Bracons

Brackets



Figure 9
Elément M3/B5/P3
assemblé à blanc
Element M3/B5/P3
trial-assembled

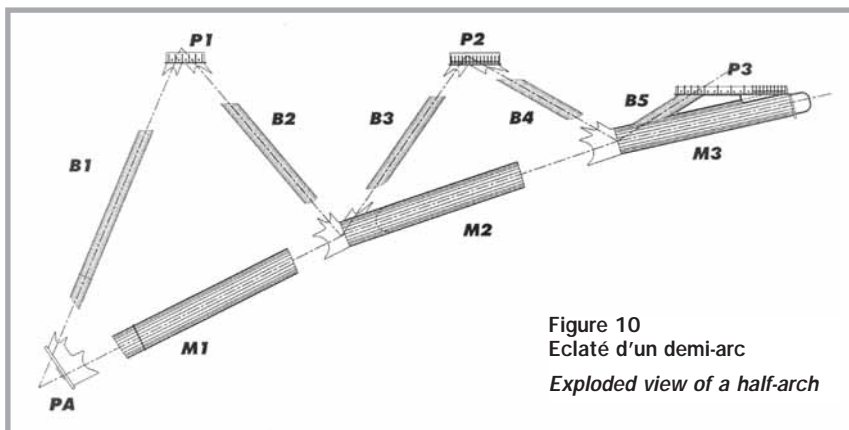


Figure 10
Eclaté d'un demi-arc
Exploded view of a half-arch

ticulier si l'angle aigu est inférieur à 45° (figure 8). Dans certaines zones un fraisage s'est avéré nécessaire (figure 7).

Des dispositions spécifiques ont été prises pour soigner la réalisation des soudures de rabotage : ajustage des diaphragmes raidisseurs et support pour la soudure, et mise en œuvre de lattes usinées, avec le recours à des soudeurs hautement qualifiés (toute position). Dans le cas présent, on n'a pas pu recourir à la solution habituelle des amorces de bracons permettant une reprise des soudures à l'envers, pour l'assemblage des bracons sur les membrures. Avec des angles aigus faibles, et des bracons trop courts pour être réalisés en deux éléments longitudinaux, le charpentier a dû recourir à des assemblages par enfourchement avec gousset central, pour garantir la pleine pénétration des soudures (figure 9).

Les 16 arcs identiques, de 19 t et environ 19 m de long, ont été entièrement réalisés en atelier. Chacun comporte (figure 10) :

- ◆ une membrure inférieure en tube Ø 813 x 30, de forme polygonale (figure 11), obtenue par rabotage des trois éléments rectilignes (M1, M2 et M3);
- ◆ des bracons (B1 à B5) en tube Ø 406, 4 x 16 munis à leur extrémité supérieure de platines (P1



Figure 11
Membrure inférieure avec amorces
des bracons
Lower member with bracket
starting points

Figure 12
Platine P2
Plate P2



Figure 13
Principe
de la platine P3
Principle of plate P3

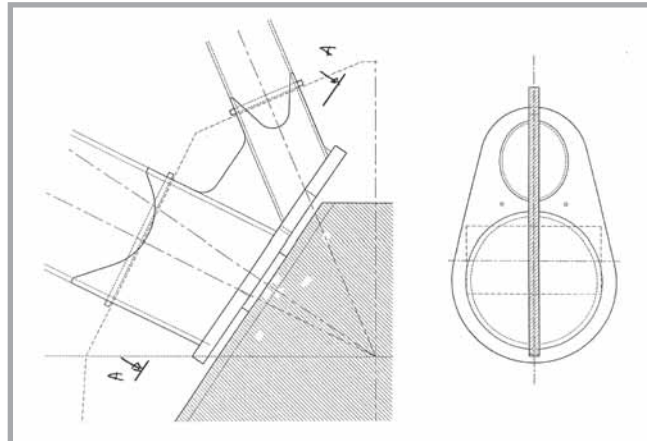


Figure 14
Assemblage platine P3
sur membrure inférieure
Assembly of plate P3
on lower member



Figure 15
Sortie de deux demi-arcs
sur camion
Two half-arches leaving on truck

Figure 16
Arrivée sur site
de deux demi-arcs peints
Arrival on site
of two painted half-arches



à P3), dont les plans d'appui sous les nervures béton sont orthogonaux aux plans des treillis (figure 12);

◆ une platine d'extrémité basse (PA) recevant une membrure et un bracon, munie d'un grain pour l'appui provisoire de l'arc avant encastrement (figures 13 et 14).

Transports - Anticorrosion

Compte tenu des dimensions des arcs, il a fallu les livrer deux par deux, chaque convoi reprenant deux éléments superposés à plat et disposés symétriquement pour équilibrer les charges sur le convoi routier. Des ensembles spécifiques ont donc été réalisés, constitués chacun d'un châssis double et d'un châssis simple, solidaires du camion et munis d'oreilles pour les manutentions (figure 15). Les arcs étant entièrement fabriqués en usine, la totalité du système anticorrosion a été appliquée en atelier en disposant l'ensemble des deux arcs sur des lorries, en limitant l'intervention à des reprises ponctuelles (figure 16). Il a été retenu un système polyuréthane ACQPA N° C4ANV de Maestria, avec une teinte finale noir satiné (RAL 9005). Un soin particulier a été pris au niveau de la conception de l'ensemble des accessoires provisoires mis en œuvre pour les différentes opérations de transport et de manutention. Ils ont été complétés par une protection par polyane de la structure ("enrubannage"), pour éviter toute souillure pour les phases ultérieures de connexion (figure 19).

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur totale de l'ouvrage : 143 m
- Largeur : 24 m
- Quatre travées dont une de 46 m au-dessus de la Charente
- Surface de tablier : 3 000 m²
- Montant du marché : 6 600 000 euros
- Durée des études d'exécution : 10 mois
- Durée du chantier : 18 mois (28 000 heures de travail pour DV construction)

Volumes de béton mis en œuvre

- Fondations et appuis : 1 600 m³
- Tablier : 1 900 m³

Poids métal

- Poids total d'aciers passifs HA (appuis et tablier) : 400 t
- Poids d'aciers de précontrainte : 90 t
- Poids d'aciers de charpente métallique : 293 t
- Protection anticorrosion : 1 340 m²

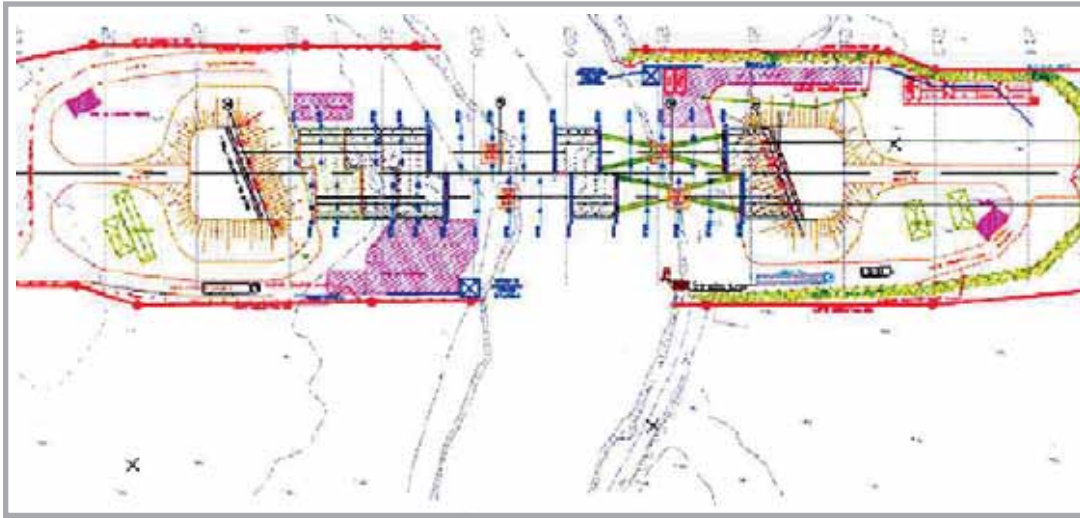


Figure 18
Bétonnage du 1^{er} plot nervuré
(clé de l'arc)

*Concreting of the first ribbed supports
(arch keystone)*

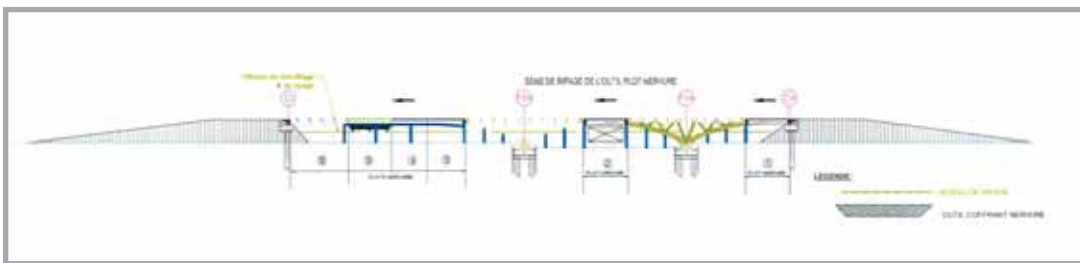


Figure 17
Premières phases de construction - Plots nervurés
Initial stages of construction - Ribbed supports



Figure 19
Mise en place d'un demi-arc
Installing a half-arch

■ RÉALISATION DU GÉNIE CIVIL ET MONTAGE DE LA CHARPENTE

Construction et maintien des parties du tablier adjacentes aux zones sur charpente

Pour réaliser ces zones, appelées "plots nervurés", l'entreprise a conçu un étaieement capable de supporter le coffrage et d'assurer aussi l'étaieement de la dalle après décoffrage. Cet étaieement, constitué de cinq plateaux métalliques et de coffrages bois, est supporté par les poteaux HEB 600 qui assurent les appuis provisoires du tablier jusqu'à l'achèvement de l'ouvrage. Déplacés de plot en plot par dévérinage et ripage (figure 17), les cinq outils franchissent les zones libres des futures charpentes sur des palées de ripage fondées sur pieux (figure 18).

Mise en place et maintien provisoire de la charpente

La mise en place et le maintien provisoire de la charpente ont fait l'objet d'une longue mise au point.

Les seize demi-arcs sont déchargés, levés et positionnés sur des appuis pré-réglés à l'aide de grues télescopiques de 160 et 300 t (figure 19), implantées en rive gauche et rive droite sur trois plates-formes. Le principe de pose a consisté à régler précisément les arcs par rapport aux axes et niveaux relatifs des



Figure 20
Quatre demi-arcs posés
Four half-arches installed

appuis béton, afin que l'ossature métallique s'adapte correctement à l'existant, quelle que soit son implantation en coordonnées absolues. La géométrie des éléments de charpente que l'on peut assimiler à un triangle plan déversé sur un axe biais (figure 20) a conduit à retenir un système de maintien sur trois points d'appuis :

- ◆ un appui en pied de charpente permet de poser et buter la charpente et de maîtriser sa position précise vis-à-vis de la fondation ;
- ◆ un appui en tête qui permet de régler la position exacte en altimétrie du tube principal de la charpente ainsi que son impact en plan (figure 21) dans les réservations des nervures déjà bétonnées ;
- ◆ un appui situé non loin du centre de gravité permet enfin de régler le déversement de la charpente tout en assurant l'exacte position en plan de chaque zone de connexion.



Figure 21
Jonction arc acier - Nervure béton
Junction between steel arch and concrete rib



Figure 23
Montage du plancher de travail
Erection of the work floor

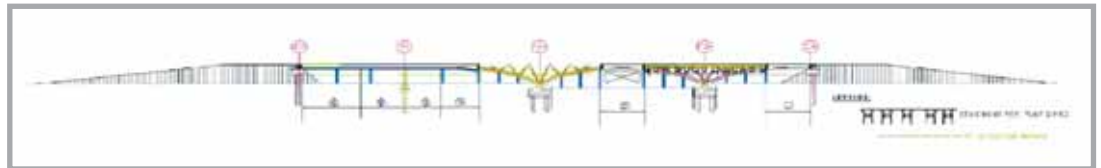
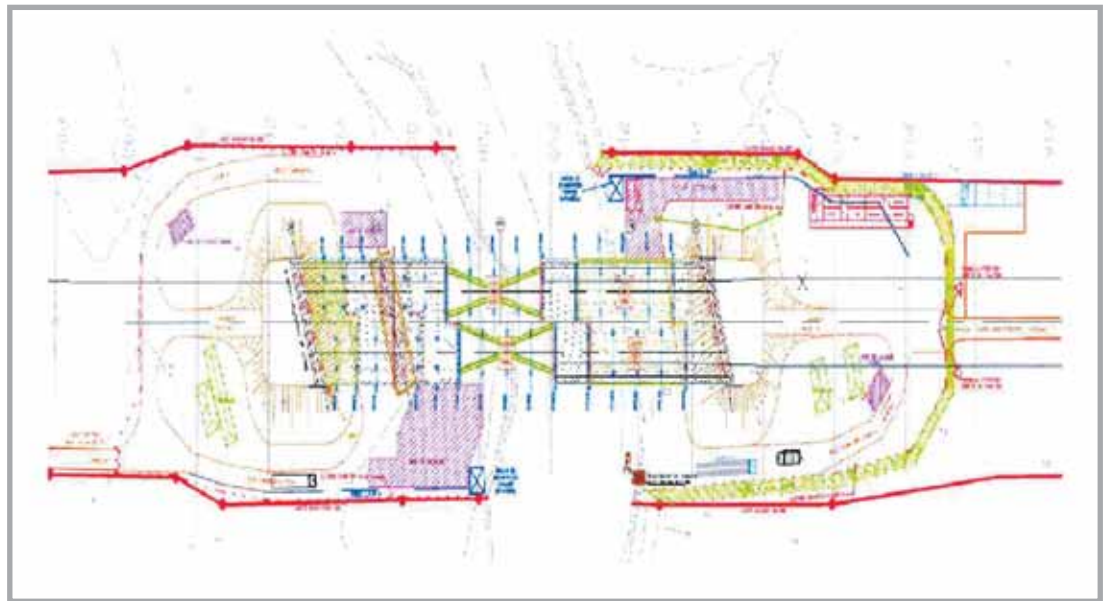


Figure 22
Secondes phases de construction - Plots sur arc
Finishing stages of construction - Supports on arch

Figure 24
Mise en place
des tables coffrantes
Installation
of the casting tables



► Les arcs étant livrés deux par deux sur le même convoi, il était prévu de décharger en une fois l'ensemble châssis + deux arcs en position horizontale. L'exiguïté du chantier n'a pas permis cette manipulation d'ensemble. Il a donc fallu caler provisoirement l'arc inférieur au sol, pendant le levage de l'arc supérieur.

Les arcs ont été levés en position à partir de trois points d'ancrage distincts, deux des trois élingues étant réglables en longueur. Pendant la phase de réglage, l'arc a été maintenu à la grue, appuyé en pied, guidé localement à l'aide des butées et réglé en altitude et en dévers à l'aide des brins réglables. Après contrôle au théodolite de l'aligne-

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Etat : ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer

Maître d'œuvre

DDE de la Charente. Service des Grands travaux

Assistant maître d'œuvre

- Ingérop
- Michel Virlogeux

Contrôle des études d'exécution

Ingérop

Contrôle extérieur

CETE du Sud-Ouest

Conception

- Ingérop
- SERF
- Michel Virlogeux

Architecte

Alain Spielmann

Entreprises

- Génie civil : DV construction
- Métal : J. Richard Ducros et Prezioso (peinture)

Etudes d'exécution

Setec



Figure 25
Empochement avant bétonnage du plot sur arc
Pocketing before concreting the support on the arch

ment des platines supérieures par rapport à un axe relatif, et à la lunette des niveaux des platines P2 et P3 par rapport à l'existant, il a été procédé à la mise au contact des appuis par calage et butées complémentaires, avant de libérer la grue et d'établir les PV de contrôle.

Réalisation des dalles sur charpente en indépendance totale

La connexion différée retenue lors des choix conceptuels et la géométrie de l'ouvrage ont imposé la réalisation d'un coffrage contournant les futurs points de connexion de la charpente. Ces coffrages, comme l'étalement qui les soutient, doivent en effet être impérativement indépendants de la charpente de façon à ne lui transmettre aucun effort durant toutes les phases de construction. Ces coffrages ont été réalisés à l'aide de table coffrante pré-assemblée (figures 22 à 24).

L'étalement de chaque zone qui couvre 1 600 m² au total dont la moitié se situe au-dessus de la Charente est fondé sur les palées montées préalablement servant pour le ripage des outils "plots nervurés". La dalle est bétonnée sur chaque arc entre les plots précédents, à l'exclusion des empochements pour connexion (figures 25 et 26).

Mise en tension de la dalle et réalisation de la connexion différée

Après achèvement de la mise en tension et un nettoyage très soigné des réservations, l'entreprise a procédé par série de 12 unités au bétonnage des



Figure 26
Empochement avant connexion sur arc
Pocketing before connection to the arch



Figure 28
Coffrage de la seconde partie de pile
Shuttering the second part of the pier

"empochements", zones réservées pour la connexion. Ces zones, points très sensibles de la structure, ont conduit l'équipe du chantier à compléter les caractéristiques du BHP mis en œuvre sur le reste de la dalle par l'ajout de 30 kg/m³ de fibres métalliques. Ce béton mis en œuvre après saturation du support est maintenu sous une cure hydraulique durant 7 jours.

Décintrement de l'ouvrage et encastrement des pieds de charpente

Après bétonnage des 48 points de connexion et retrait en parallèle des 800 t de matériels nécessaires à la réalisation de la dalle, l'entreprise réalise en sous-œuvre les piles en "pointe de diamant". Ces piles qui constituent l'encastrement en pied des charpentes viennent noyer la dent provisoire construite pour assurer la libre rotation de la charpente au moment du décintrement de l'ouvrage (figures 27 à 29).



Figure 27
Première partie de pile pour appui provisoire des arcs
Initial part of pier for temporary support of arches



Figure 29
Pile terminée, avec arcs encastrés
Completed pier, with fixed arches



Figure 30
Ouvrage terminé - Ensemble
Completed structure - General



Figure 31
Ouvrage terminé - Détail
Completed structure - Detail

► Dès lors il ne reste plus qu'à assurer les finitions avec la pose des divers équipements (figures 30 et 31).

ABSTRACT

A composite arch bridge over the Charente at Jarnac

J.-P. Dargon, A. Valadier, J. Mac Farlane, J.-P. Grenerly, P. Dugas, M. Virlogeux

The diversion on highway RN 141 at Jarnac crosses the Charente in a peaceful tourist setting. The DDE equipment board for Charente and the whole designer team accordingly adopted light structures and a careful architectural treatment. The main structure, on the northern arm of the Charente, therefore has a special structure, which required specific construction techniques. In particular, the structure combines steel arches in tubular space lattice form with a ribbed slab of concrete prestressed in the longitudinal and transverse directions. The unusual construction schedule – the deck was started with the arch keystone – required the development of relocatable sectional formwork, while the geometry of the tubular arches required extremely painstaking manufacturing. The construction was completed on time, despite its geometric and technical complexity, resulting in an attractive structure, integrated into the landscape.

RESUMEN ESPAÑOL

Un puente en arco mixto en el río Charente, en Jarnac

J.-P. Dargon, A. Valadier, J. Mac Farlane, J.-P. Grenerly, P. Dugas y M. Virlogeux

La variante de la carretera nacional RN 141 en Jarnac salva el río Charente en un emplazamiento tranquilo y de vocación turística. Todo ello ha conducido a la Delegación provincial de Obras Públicas (DDE) de Charente y al conjunto de los proyectistas a adoptar estructuras ligeras y poner especial cuidado en cuanto a la arquitectura. La estructura principal, en el ramal norte del río Charente presenta, por consiguiente, una estructura particular, que ha precisado adoptar métodos específicos de construcción. Efectivamente, se combinan en la estructura los arcos metálicos de entramado espacial tubular con una losa nervada de hormigón pretensado longitudinal y transversalmente. Las etapas de construcción desaconsumbradas – con arranque del tablero por la clave del arco – han impuesto el desarrollo de equipos de encofrado

móviles, mientras que la geometría de los arcos tubulares ha dado lugar a una fabricación particularmente minuciosa. La construcción se ha terminado dentro de los plazos impartidos, y ello a pesar de la complejidad geométrica y técnica, que ha tenido como resultado una estructura armoniosa, perfectamente integrada al paisaje.



Le pont de Corbeil

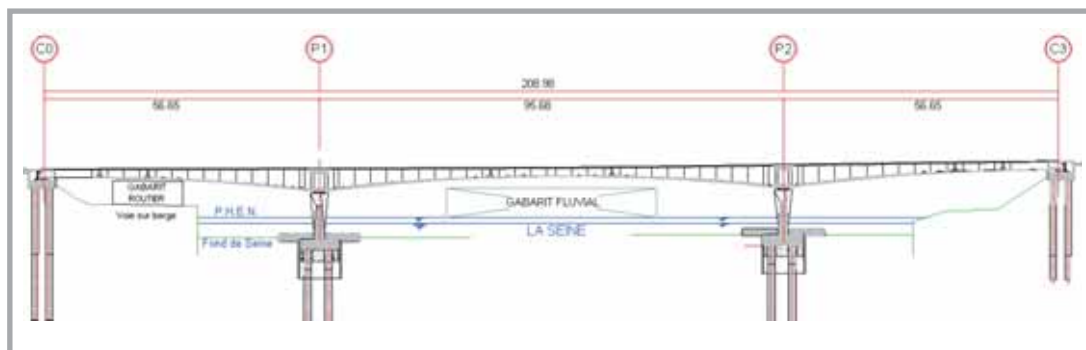


Figure 1
Coupe transversale
de l'ouvrage

*Cross section
of the structure*

Afin de réduire les phénomènes d'engorgement du trafic autoroutier aux heures de pointe, la Francilienne (A104 en périphérie de Paris) est en cours d'aménagement entre la RN 7 et la RD 33; soit dans sa partie sud-est de Paris à proximité immédiate de l'autoroute du Sud A6 et de la ville de Corbeil-Essonnes (91). Le projet comprend :

- ◆ la mise à 2 x 3 voies de la Francilienne;
- ◆ des protections contre le bruit (buttes, écrans, isolations);
- ◆ la refonte du réseau d'assainissement d'eau (collecteurs, fossés, bassins de décantation).

Le financement d'un montant global de 100 millions d'euro, est assuré par l'Etat (27,7 %), la Région (64,6 %) et le Département (7,7 %). L'ensemble des travaux est programmé sur une dizaine d'années.

Le maître d'ouvrage est l'Etat (ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer). La maîtrise d'œuvre est assurée par la Direction départementale de l'Équipement de l'Essonne (91).

Les travaux de franchissement de la Seine ont été confiés au groupement d'entreprises GTM Génie civil et Services (mandataire) et Solétanche Bachy, avec l'appui de Chantiers Modernes. Il comprend :

- ◆ le franchissement de la Seine par construction de l'OA601 en doublement de l'OA6 existant ;
- ◆ le franchissement de la N448 par construction de l'OA701 en doublement de l'ouvrage existant ;
- ◆ la réhabilitation d'une buse métallique.

L'ouvrage principal OA601 sur la Seine est constitué de deux tabliers accolés en béton armé précontraints de 210 ml chacun. Chaque tablier dispose de trois travées (une travée centrale de 96 m et deux travées de rive de 57 m) de portées biaises, soit deux culées aux extrémités et deux piles en Seine. La largeur droite finale est de 21 ml. La surface du tablier est de 4 400 m² entre axes des culées.

La méthode de réalisation est par encorbellements successifs (figure 1).

■ LES CULÉES (C0 ET C3)

A chaque extrémité, les culées C0 et C3 sont enterrées et fondées chacune sur six pieux (de 1,30 m



Photo 1
Fonçage
des palplanches
des batardeaux
et estacade en Seine

*Driving the sheet piling
for cofferdams and breakwater
in the Seine*

de diamètre et de longueur 27 m environ) forés à la boue et tubés sur toute la hauteur.

Chaque culée reçoit quatre appareils d'appui supportant le tablier :

- ◆ trois appareils d'appui à pot multidirectionnels de 700 t de capacité portante chacun ;
- ◆ un appareil d'appui monodirectionnel de 2 700 t de capacité portante.

■ LES PILES EN SEINE (P1 ET P2)

Dans un premier temps, il a fallu réaliser deux estacades (pontons), une depuis chaque rive pour accéder au droit de chaque pile. Ceci a permis, l'amenée du matériel de forage, l'accès aux piles et a constitué une plate-forme pour les grues à tour (photo 1)

- ▶ Depuis une barge en Seine, au droit de chaque pile un batardeau a été réalisé par fonçage de palplanches PU 16 (175 t) de 13 m de longueur dont 8 m de fiche d'ancrage. Ces équipements provisoires en Seine (estacades et batardeaux) ont été protégés des éventuels chocs (bateaux, péniches, arbres flottants...) par des ducs d'Albe.

Photo 2
Réalisation des pieux
depuis la plate-forme
sur le batardeau

*Construction of piles
from the platform
on the cofferdam*



Photo 3
Réalisation
d'une pile en Seine
*Construction of a pier
in the Seine*



Photo 4
Caisson
Box girder



Après terrassement des batardeaux (1 600 m³) et réalisation du massif en béton immergé de 2,50 m d'épaisseur formant un bouchon dans l'enceinte de palplanches, huit pieux par pile ont été forés depuis une plate-forme assise sur le batardeau. Chemisés jusqu'à 1,50 m sous le béton immergé, les pieux de 1 500 mm de diamètre, ont été forés à la boue sur une longueur de 15 m environ (photo 2).

Une fois vidée et nettoyée, l'enceinte étanche des batardeaux a permis la réalisation des semelles (8,30 x 19,50 m d'épaisseur 2,2 m) reposant sur le bouchon de béton immergé.

En élévation sur ces semelles, les deux piles en forme de "Y" ont été réalisées à l'aide d'un coffrage outil sur toute la hauteur et donc faisant l'objet de quatre réemplois (photo 3).

La pile P1 comporte :

- ◆ un appui fixe ;
- ◆ trois appareils d'appui monodirectionnel.

La pile P2 reçoit quatre appareils d'appui :

- ◆ trois appareils d'appui à pot multidirectionnels de 700 t de capacité portante chacun ;
- ◆ un appareil d'appui monodirectionnel de 2 700 t de capacité portante.

■ LE TABLIER

Il est constitué de deux caissons à âmes verticales d'épaisseur constante 36 cm.

Les caissons font 5,80 m de large et la largeur du hourdis supérieur (d'épaisseur constante de 25 cm) est de 10,00 m, soit un tablier de 21 m y compris le clavage longitudinal de 1,00 m entre les deux caissons.

La hauteur du tablier varie de 5,00 m au niveau du voussoir sur pile à 2,00 m aux extrémités des fléaux. Chaque voussoir sur pile fait 8,00 m de long et chaque fléau (quatre au total) comprend 13 paires de voussoirs de 3,30 m chaque. Le voussoir de

Photo 5
Palées provisoires et mise en place des platelages
de travail

Temporary bents and laying work flooring



clavage central mesure 1,88 ml. Les parties sur cintres mesurent 9,75 ml. L'épaisseur de béton du hourdis inférieur varie de 55 cm au niveau du voussoir sur pile à 25 cm aux extrémités des fléaux. Le clavage longitudinal fait 1,00 ml de large (photos 4 et 5).

Après mise en œuvre des palées provisoires (110 t de charpente) support des fléaux (de part et d'autre des piles) et des platelages de travail, les voussoirs sur piles (VSP) ont été réalisés à l'aide d'un coffrage spécifique (photo 6). Ils représentent 620 m³ de béton, 85 t d'armatures et 1 150 m² de coffrage.

La réalisation des quatre fléaux de 13 paires de voussoirs chacun a été effectuée à l'aide d'équipages mobiles de type "par en dessous avec C porteur".

Chaque équipage est constitué d'une poutre transversale en C ; de poutres tirant avant et de fond de moule ; de coffrages de fond de moule, extérieurs et intérieurs ; des passerelles d'accès et de travail ainsi que des appareils hydrauliques nécessaires au fonctionnement (photo 7).

Ces équipages mobiles (de 37 t chacun) ont permis de préfabriquer les cages d'armatures, de bétonner chaque voussoir en une seule phase.

Chaque cycle comporte les phases successives suivantes :

- ◆ avancée des équipages mobiles (poutre transversale en C et poutres latérales ; coffrages de fond de moule et extérieurs latéraux ; passerelles) à l'aide des vérins hydrauliques afin de former le coffrage extérieur ;
- ◆ mise en place du ferrailage et des gaines de précontraintes du fond de moule et des âmes verticales ;
- ◆ avancée du coffrage intérieur ;
- ◆ mise en place du reste du ferrailage et des gaines de précontrainte formant le hourdis supérieur ;
- ◆ fermeture du coffrage en extrémité ;
- ◆ bétonnage à la grue à tour (sur rails sur les estacades) ;
- ◆ après prise du béton et vérification au maturimètre, mise en tension de la précontrainte intérieure ;
- ◆ décoffrage et début du cycle suivant.

Chacun des 104 voussoirs du tablier (13 voussoirs de part et d'autre de chaque VSP) représente 26 m³ et 3 300 kg d'armature HA moyens. Le choix du béton a été déterminant afin de pouvoir mettre en tension puis décoffrer un voussoir moins de 24 heures après son bétonnage.

L'expérience des équipes a permis des cadences de deux paires de voussoirs par semaine par équipage mobile ; soit huit voussoirs par semaine pour les deux fléaux à raison de dix compagnons par équipage (photo 8).

Au moyen d'étalement et d'un coffrage bois spécifique, chacun des fléaux a été prolongé en extrémité d'un voussoir sur culée. Chaque fléau a

alors été vériné pour être mis sur appuis définitifs. La continuité de chaque caisson a été accomplie par réalisation du clavage central effectué à l'aide de l'équipage mobile. Afin de former un seul tablier,



Photo 6
Réalisation des voussoirs sur pile (VSP)
Execution of segments on piers



Photo 7
Equipage mobile sur voussoir
Mobile rig on segment



Photo 8
Bétonnage de voussoir
Segment concreting

► les deux caissons ont été reliés par un clavage longitudinal de 1,00 m de large.

Après mise en tension de la précontrainte extérieure, l'ouvrage sera complété par deux longrines latérales béton formant un trottoir recevant les équipements de sécurité (glissières, barrière BN4, corniche caniveau) puis il sera couvert d'une étanchéité et de sa chaussée.

Une fois les installations provisoires enlevées (estacades, ducs d'Albe et batardeaux recépés), un enrochement viendra en protection des piles.

Les travaux confiés au groupement GTM Génie civil et Services et Solétanche Bachy auront duré 24 mois, dont quatre mois de préparation.

ABSTRACT

Corbeil Bridge

Fr. Guiot

As part of widening work on the "Francilienne" motorway (A104 outer ring road around Paris) in the Essonne, the state awarded a consortium formed by GTM Génie Civil et Services (leader) and Solétanche Bachy, with the support of Chantiers Modernes, the contract for execution of the Seine crossing.

The main structure consists of two adjacent decks of prestressed reinforced concrete, each 210 metres long. Each deck has three skew spans (one centre span 96 metres long and two 57-metre end spans). The final straight width is 21 metres.

Abutments C0 and C3 are underground, with foundations on piles (6 piles of dia. 1.30 m). After installing the breakwaters and cofferdams, Y-shaped piers P1 and P2 (resting on 8 piles of dia. 1.50 m) were constructed using special sectional formwork.

Once the pier segments had been constructed on temporary supports, the link segments (13 pairs x 4 cantilever sections, or 104 segments) were executed by successive cantilevers poured in place using a mobile rig.

After jacking the 4 cantilever sections on permanent supports, the deck was assembled by two central keying segments and one longitudinal keying part. The project was completed by the installation of road safety appurtenances, waterproofing and the pavement. Two years were needed for its construction.

RESUMEN ESPAÑOL

El puente de Corbeil

Fr. Guiot

Actuando en el contexto de ensanche de la Francilienne (A 104 en la periferia de París) en el departamento del Essonne, el Estado ha encargado a la agrupación de empresas GTM Ingeniería Civil y Servicios (como apoderado) y Soletanche Bachy, con la colaboración de Chantiers Modernes, la ejecución de la travesía del río Sena.

La estructura principal está formada por dos tableros adyacentes de hormigón armado y pretensado de 210 m cada uno. Cada tablero consta de tres tramos (un tramo central de 96 m y dos tramos extremos de 57 m) de luces

en esviaje. La anchura recta final se eleva a 21 m.

Los estribos C0 y C3 están enterrados y apoyados sobre pilotes (6 pilotes Δ 1,30 m). Tras ejecución de las estacadas y de las ataguías, se han construido las pilas P1 y P2 (apoyadas en 8 pilotes \varnothing 1,50 m) por medio de un encofrado específico.

Una vez ejecutadas las dovelas sobre pilas por medio de apoyos provisionales, las dovelas corrientes (13 pares x 4 brazos en voladizo, o sea 104 dovelas) se han ejecutado por voladizos sucesivos hormigonados in situ por medio de un equipo móvil.

Tras inclusión de cilindros hidráulicos de los cuatro brazos en voladizo sobre apoyos definitivos, el tablero se ha ensamblado por medio de dos dovelas de enclavamiento central y un enclavado longitudinal. La estructura ha quedado terminada mediante la instalación de los equipos viarios de seguridad, la impermeabilización y el pavimento. Su construcción ha precisado un plazo de dos años para su terminación.

Le viaduc sur la Vilaine

Aménagement de la rocade Est et la Loire-Atlantique

Un ouvrage tant attendu!
Relier deux villes, deux départements,
deux régions...

Ouvrir un axe de communication struc-
turant à l'échelle du grand Ouest...

Préserver un bassin de population
des nuisances du trafic automobile...

Au tournant du siècle, le contournement
de Saint-Nicolas-de-Redon et de
Redon marque pour longtemps l'amé-
nagement de notre territoire.

Le viaduc sur la Vilaine s'inscrit dans
ce projet et symbolise ce lien ma-
jestueux tant attendu.

Ouvrage mixte bipoutre de 672 ml et
25 m de haut reposant sur 10 piles,
son profil architectural s'inscrit par-
faitement dans l'environnement de
la vallée de la Vilaine.

LE CONTOURNEMENT DE REDON ET DE SAINT-NICOLAS-DE-REDON

Ces dernières années, sur l'axe Saint-Nazaire/Rennes, il fallait être patient pour traverser Saint-Nicolas-de-Redon en empruntant l'unique pont sur la Vilaine. Certains jours, jusqu'à 17000 véhicules pouvaient venir se heurter à ce véritable goulot d'étranglement. Le trafic routier n'a cessé effectivement d'augmenter sur cette liaison rendant la circulation de moins en moins fluide et entraînant des nuisances sonores importantes pour la population de ces communes. Les crues répétitives de la Vilaine rencontrées de façon significative ces dernières années venant s'ajouter à ces importantes difficultés en scindant en deux le pays de Redon.

Depuis le 23 décembre 2002, tout cela n'est plus qu'un mauvais souvenir avec l'ouverture du contournement Est de Saint-Nicolas-de-Redon et de Redon. La touche finale d'un projet d'envergure qui a nécessité trois ans de travaux (figure 1).

Les enjeux de ce projet

Des enjeux multiples :

- ◆ relier Saint-Nazaire à Rennes par Redon ;
- ◆ désenclaver le nord de la Loire-Atlantique et le sud de l'Ille-et-Vilaine ;
- ◆ désenclaver le Pays de Redon, y compris pendant la période des crues de la Vilaine.

Cela revient donc à améliorer l'ouverture de la Loire-Atlantique vers le réseau routier national et européen, accompagner le développement économique du port de Nantes/Saint-Nazaire, faciliter les flux touristiques, britanniques en particulier, en direction du littoral. Sans oublier une meilleure qualité de vie journalière pour les habitants de Redon (35) et de Saint-Nicolas-de-Redon (44) avec le franchissement de la Vilaine.

La réalisation de cette rocade de plus de 5 km nécessitait de relever ainsi de nombreux défis. Entre autres, deux très importants...

L'environnement, tout d'abord. La zone humide du marais au pied du coteau de la Belle Anguille était un espace particulièrement sensible à respecter et protéger. Puis, il a fallu construire un viaduc sur la Vilaine, à un endroit où le dénivelé est important entre les deux rives. Cet ouvrage d'art devait donc être de très grande dimension, tout en s'intégrant harmonieusement à ce point de rétrécissement et d'inflexion de la vallée.

Résultat : un véritable monument de 672 m de long et 25 m de haut surplombe désormais le "fleuve frontière" entre la Loire-Atlantique et l'Ille-et-Vilaine. Un lien majestueux entre ces deux départements que devraient emprunter 8000 véhicules par jour : soit autant de voitures qui ne passeront plus par Saint-Nicolas-de-Redon.

LA CONCEPTION DE L'OUVRAGE

Dans le cadre de la politique mise en place par le Conseil général relative à l'externalisation de la maîtrise d'œuvre, il a été décidé d'avoir recours à un maître d'œuvre privé dans le cadre d'un concours afin de pouvoir confronter des solutions architecturales et techniques différentes.

Le CG44, mandaté par le CG35 à la suite d'une convention, assurant la conduite d'opération (chaque collectivité conservant sa qualité de maître d'ouvrage et participant au choix des candidats, d'où deux jurys et deux marchés de maîtrise d'œuvre). Après un premier appel à candidature en 1998 déclaré infructueux, un deuxième concours fut lancé

Figure 1
Plan du tracé
de la déviation
*Bypass
layout plan*





de Redon entre l'Ille-et-Vilaine



Figure 2
Esquisse architecte
Gaudin

Draft by architect
Gaudin

à l'automne 1999, et conduisit à retenir quatre équipes candidates.

Après examen des projets, le jury sélectionna celui du groupement Scetauroute - Atelier Gaudin. Il lui confia la mission complète de maîtrise d'œuvre, recouvrant les phases définies dans la loi MOP : avant-projet, projet, assistance au contrat de travaux, suivi de l'exécution.

Le rôle et la responsabilité du maître d'ouvrage lui fit l'obligation d'accompagner et de contrôler les différentes étapes de la vie du projet. C'est ainsi que les études, puis le DCE fut l'objet de validations notifiées par ordre de service. De même, les contrôles extérieurs (géomètre, géotechnique), et la coordination sécurité relevant directement du maître d'ouvrage, furent programmés en accord avec le maître d'œuvre, mais commandés par le maître d'ouvrage.

L'équipe de maîtrise d'œuvre : Scetauroute - Atelier Gaudin a conçu l'ouvrage suivant : un pont mixte bipoutre de 672 m de longueur, d'une hauteur de 6 à 25 m au-dessus du sol, comportant dix piles et présentant en plan un rayon constant de 900 m. Le profil longitudinal de l'ouvrage d'un point à l'autre de la vallée de la Vilaine a la particularité d'être réalisé avec des poutres en acier de hauteur variable et avec un espacement croissant des piles vers le fleuve.

Cette disposition accentue l'effet dynamique déjà donné par la courbure, le point culminant de ce mouvement étant marqué par le franchissement de la Vilaine sous forme d'un arc très tendu. Cet aspect architectural du tablier révèle une forme en "queue de billard", son épaisseur diminuant progressivement, entre le centre de l'ouvrage et ses extrémités (figure 2).

■ LA DÉVOLUTION DES TRAVAUX

Le marché, signé le 19 mars 2001, fut notifié le 17 avril 2001 au groupement d'entreprises ETPO - QUILLE pour le lot principal et Baudin-Chateauneuf pour le lot accessoire.

Cet ouvrage était à réaliser en 17,5 mois dont un mois de période préparation. Il était décomposé en deux lots :

- ◆ lot principal : génie civil, terrassement, équipements ;

- ◆ lot accessoire : structure métallique.

Le lot principal représentait un montant de 6 323 790 € HT, le lot accessoire 4 221 769 € HT soit un montant total de 10 545 559 € HT.

Le mandataire du groupement est l'entreprise ETPO, la direction technique du chantier ainsi que la gérance administrative du lot principal étant prise en charge par QUILLE.

Concernant le lot génie civil, les entreprises ETPO et QUILLE ont mis en commun leurs moyens humains et matériels pour réaliser ensemble la totalité des travaux.

La direction des travaux fut assurée par Rémi Tempier (ingénieur travaux principal QUILLE) assisté de Bruno Jolivel (chef de chantier ETPO).

L'ordre de service des travaux, lançant le délai de 17,5 mois, date du 21 mai 2001. Les travaux se terminèrent le 6 novembre 2002 conformément aux engagements contractuels.

Une contrainte forte était imposée au chantier : réaliser les fondations se trouvant dans la vallée inondable de la Vilaine pendant l'été 2001 afin d'éviter les crues connues lors des dernières années. En avril et mai 2001, la vallée de la Vilaine était inondée (photo 2).

UNE COOPÉRATION EXEMPLAIRE

Les Conseils généraux de Loire-Atlantique et d'Ille-et-Vilaine étaient en première ligne sur cet aménagement. Chacun d'entre eux assura sur son territoire la maîtrise d'ouvrage de la partie routière, tandis que la Loire-Atlantique assumait la maîtrise d'ouvrage du viaduc pour le compte des deux collectivités.

Le coût global de l'opération est de 28 millions d'euros, dont 12,8 millions pour le viaduc. Elle fut financée à 55 % par le Conseil général de Loire-Atlantique et à 45 % par celui d'Ille-et-Vilaine, avec le soutien des deux Régions Pays-de-la-Loire et Bretagne.

Photo 2
Vallée
inondable
Valley subject
to flooding



Figure 3
Coupe type
de l'ouvrage
Typical cross section
of the works

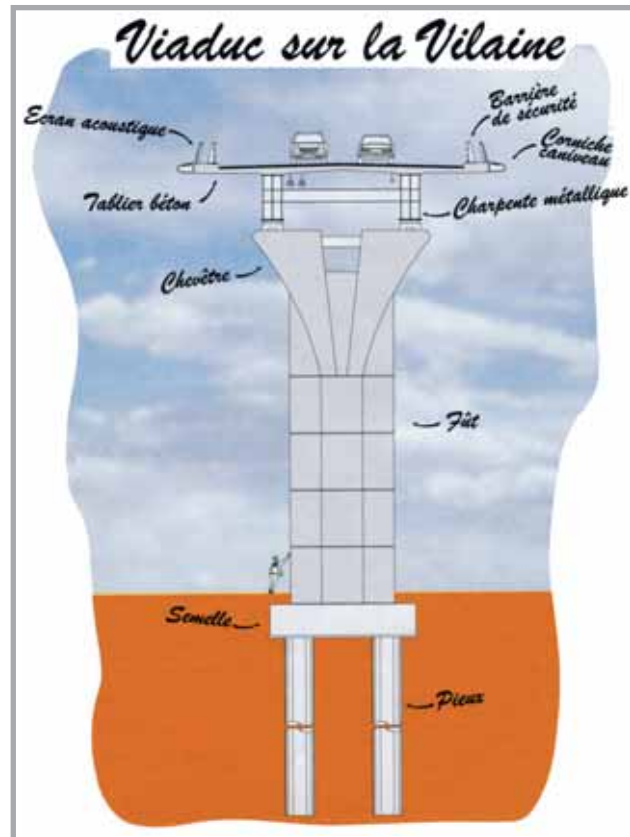


Photo 3
Réalisation
semelle pile P2
Construction
of the footing
of pier P2



L'installation de chantier débuta fin juin 2001 par la réalisation de la piste de chantier côté Loire-Atlantique.

■ PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE (figure 3)

Cet ouvrage ci-dessus présenté dans son environnement, il est important de rappeler les principaux éléments ayant une importance dans les phases de sa construction.

Ainsi, l'ouvrage à réaliser est un viaduc à structure mixte de 672 ml reposant sur deux culées et dix piles.

Le tablier en béton armé présente une largeur totale de 14 m. Sur les dix piles à réaliser, huit reposent sur des fondations profondes de type pieux forés tubés.

L'ouvrage est constitué d'un tablier dont les portées, mesurées dans l'axe des voies, valent : C0 - 45 m - 70 m - 105 m - 65 m - 60 m - 55 m - 50 m - 45 m - 32 m - C11

Le profil en travers est en toit avec des dévers symétriques de 2,5 %.

Le profil en long présente une rampe de 1,5 % sur la quasi-totalité de l'ouvrage, exception faite d'environ 40 m côté C0 sur lesquels règne une parabole de rayon de 9 000 m.

Cet ouvrage, à cheval sur deux départements, franchit la vallée inondable de la Vilaine, la Vilaine ainsi que la voie SNCF Rennes/Redon sur laquelle passe le TGV.

Ces franchissements nécessitent des dispositions particulières dans la réalisation des différentes phases des travaux.

Concernant la vallée inondable de la Vilaine aux sols constitués principalement de tourbe, une importante piste d'accès ainsi que des batardeaux furent prévus pour la réalisation des semelles.

Pour le franchissement de la Vilaine qui représente une travée de 105 ml, la charpente métallique présente une inertie variable. Celle-ci nécessita une adaptation des équipages et des passerelles prévus pour le tablier béton. Par ailleurs les deux piles de part et d'autre de la Vilaine nécessiteront deux imposants batardeaux pour la réalisation de leur semelle.

Pour la voie SNCF, pas de vibrofonçage pour les pieux, coupure des voies pour le passage de la charpente, mise en place d'un platelage de protection contre les chutes d'objet lors de la réalisation du tablier béton.

■ RÉALISATION DES APPUIS

L'ouvrage repose sur les appuis suivants :

- ◆ 2 culées (C11 côté Loire-Atlantique et C0 côté Ille-et-Vilaine) ;

◆ 8 piles (P10 à P3 côté Loire-Atlantique) sur pieux forés tubés ;

◆ 2 piles (P1 et P2 côté Ille-et-Vilaine) sur fondation superficielle.

La culée C0 est réalisée sur semelle superficielle après réalisation d'un déroctage.

La culée C11 est fondée sur trois pieux Ø 1 300 mm. La structure des culées, classique, est constituée d'un chevêtre parallépipédique de 2,00 m de haut, 4 m de largeur et 12 m de longueur, d'un mur garde-grève, de murs en retour, d'une dalle de transition.

La pile P2 sur semelle superficielle située en bordure de la Vilaine devant être initialement réalisée à l'intérieur d'un batardeau le fut finalement à l'abri d'une paroi en palplanches fondée sur le rocher et évitant les venues d'eau. Ceci compte tenu d'un niveau de rocher supérieur à ce qui était prévu.

Cette paroi représentait environ 1/3 du linéaire du rideau extérieur du batardeau initialement prévu. La présence de ce rocher imposa un déroctage supplémentaire et un talutage augmentant de fait les moyens de levage (photo 3).

Les piles P7 à P3 se situaient dans la vallée inondable de la Vilaine.

La pile P3 en bord de Vilaine fut réalisée à l'abri d'un batardeau palplanches (photo 4).

Après un décalage du démarrage des travaux de génie civil en raison du différé de la libération des accès aux culées, les travaux débutèrent par la réalisation de la culée C0 ainsi que par la réalisation d'une piste d'environ un kilomètre de long dont la partie inondable devait être traitée pour résister aux éventuelles crues à venir. Cette piste devait respecter certaines dispositions à savoir : mise en œuvre de buses, constitution d'une couche de GNT 0/400 sur 0,30 m d'épaisseur surmontée d'une couche de 0,10 m de GNT 0/60 en fermeture, le tout ne devant pas excéder 50 cm au-dessus du terrain naturel de façon à maintenir l'écoulement en cas de crue.

La totalité des matériaux ayant été mis en œuvre pour cette piste furent, au terme des travaux, évacués.

Fin juillet 2001 l'entreprise Spie Fondations, sous-traitant du groupement, intervint pour réaliser les fondations profondes de l'ouvrage : 37 pieux forés tubés de diamètre 1 300/1 500 mm de 10 à 18 m de profondeur. Ces pieux furent réalisés par forage à la boue et pour une grande partie en vallée inondable, les gaines métalliques furent descendues à leur cote par battage/trépanage.

Compte tenu d'une nature de roche rencontrée plus dure que prévue, ces travaux se terminèrent fin octobre 2001, avec un retard d'environ un mois.

L'ordre de réalisation des piles côté Loire-Atlantique, initialement prévu de P10 à P3 afin de libérer les premières piles côté culée C11 dès que possible pour le lot accessoire, dut finalement être aménagé afin de tenir compte des différents évé-

nements présentés et garantir la réalisation des piles dans la vallée inondable avant la période prévisible de crues.

Sur le mois de décembre, les statistiques donnaient une chance sur cinq d'être inondé.

Les fûts de piles furent réalisés en une phase de bétonnage pour une hauteur par pile variant de 2,5 m à 15 m afin d'atteindre le niveau d'exigence imposé au marché en terme d'uniformité de teinte des bétons (photo 4).

Les chevêtres architecturés de 7 m de haut furent également bétonnés en une phase à l'aide d'un coffrage spécifique décomposé en nombreux éléments pour tenir compte de la présence de deux tirants passifs en tête de pile et des nombreux plans inclinés s'évasant vers le sommet de la pile (photo 5).

Après mise en place de moyens complémentaires,



Photo 4
Coffrage
fût de pile P3
Shuttering
of the P3 pier shaft



Photo 5
Coffrage
chevêtre
Joist shuttering

LES BÉTONS UTILISÉS

- Pieux : B25 à 400 kg CEMIII/A 42.5 PMES 0/20 fl
- Semelles : B30 à 350 kg CEMIII/A 42.5 PMES 0/20 P
- Fûts, chevêtres, culées : B30 à 385 kg de CEM I 52,5 N CP2 0/20 P
- Tablier : B35 à 385 kg de CEM I 52,5 N CE CP2 NF 0/20 P (4/6 % air occlus)

Photo 6
Pile terminée
Completed pier



Photo 7
Dispositif de lancement.
Ancrage du dispositif
de traction sur culée

Launching system.
Tensioning system
anchorage
on an abutment



Photo 8
Dispositif de retenue.
Le tronçon P2 en position
de lancement
sur la plate-forme

Restraining system.
Section P2 in launching
position on the platform



- la dernière pile fut terminée début décembre 2001 avec seulement une semaine de retard par rapport au programme initial (photo 6).
Le phasage de réalisation des piles fut le suivant :
- ◆ réalisation des pieux pour les piles concernées (quatre à six pieux par pile) ;
 - ◆ batardeaux pour les piles P8 à P2 ;
 - ◆ terrassements ;
 - ◆ réalisation des semelles ;

- ◆ réalisation des fûts de pile en une phase de bétonnage : hauteur variant de 2,50 m à 15 m (contrainte architecturale sur la teinte uniforme des bétons) ;
- ◆ réalisation des chevêtres architecturés (7 m de haut avec deux tirants passifs en tête reprenant chacun, sur la pile la plus sollicitée, 350 t).

■ RÉALISATION DU TABLIER MIXTE

Le tablier se compose de deux poutres principales en L espacées de 7,50 m sur lesquelles est connectée la dalle en béton armé.

Les poutres métalliques sont de hauteur variant linéairement de 1,95 m sur C11 à 2,85 m sur P4 puis paraboliquement jusqu'à 4,45 m sur P3.

La travée P2-P3 de 105 m de portée, varie paraboliquement de 4,45 m sur appuis à 2,85 m à la clé. La variation de P2 à P1 se fait paraboliquement de 4,45 m à 2,85 m.

La travée C0-P1 est de hauteur constante.

Les poutres sont entretoisées tous les 6,50 m environ par des IPE600 en travées et des HEB600 sur piles.

Les connecteurs reliant les poutres métalliques à la dalle sont des goujons Nelson de diamètre 22 mm. La dalle en béton a une largeur totale de 14,00 m et une épaisseur variant de 35 cm à 27 cm entre poutres.

La charpente métallique fut mise en place par la technique du lancement depuis C0 pour la section C0-1/2 travée P2/P3 (167,5 m) et depuis C11 pour le reste (504,5 m).

La dalle fut bétonnée à l'aide d'une paire d'équipage mobile. Le bétonnage respecta la technique du pianotage en réalisant les plots sur appuis après exécution de tous les plots en travée.

■ RÉALISATION DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

Quelques dates clés :

- ◆ études et approvisionnements : juin à août 2001 ;
- ◆ fabrication en atelier : septembre 2001 à février 2002 ;
- ◆ montage sur site et lancement : octobre 2001 à mai 2002.

Quarante-deux tronçons de poutres ont été réalisés dans les ateliers de Baudin-Chateaufort de Châteaufort-sur-Loire dans le Loiret ainsi que 104 unités d'entretoises de 7,5 m et 1,1 t.

La taille de ces tronçons variait de 25 m à 41 m de long et de 1,95 m à 4,45 m de haut pour une masse variant de 30 à 87 t.

En forme de "banane", du fait des contre-flèches importantes pour prévoir la déformation du pont, des hauteurs variables des poutres et de la courbure générale de l'ouvrage, ces tronçons furent

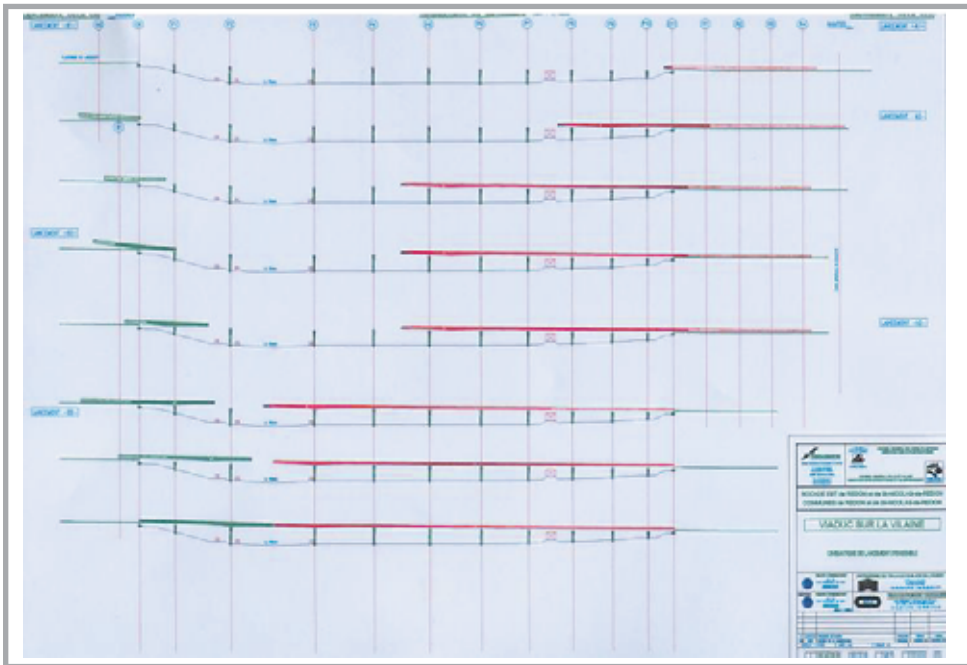


Photo 9
Cinématique
de lancement charpente
*Kinematics of structure
launching*



Photo 10
Lancement charpente
Structure launching



Photo 11
Avancement charpente mars 2002
Structure progress as at March 2002



Photo 13
Calage charpente
sur P3
Structure bracing on P3

Photo 12
Avant-bec et galets de guidage
Launching nose and guide rollers



transportés jusqu'à Redon par convois exceptionnels, debout, ou couchés pour les éléments les plus hauts. Trois jours environ furent nécessaires pour effectuer les 400 km routiers.

Sur site après l'aménagement de plates-formes de montage en arrière des culées, les tronçons furent posés sur des cales d'assemblage et réglés à niveau.

Les entretoises furent ensuite positionnées et soudées sur les poutres. Une fois assemblés, les tronçons de charpente furent lancés sur les chaises à galets disposés au sol tous les 40 m environ et sur chaque pile. Cette opération de lancement fut réalisée à l'aide de treuils de traction repris sur un ancrage sur culée (photo 7) et de treuils de retenue (photo 8).

Au total, 42 tronçons furent ainsi assemblés et lancés en trois phases successives des deux côtés de la Vilaine jusqu'à fin mars 2002 (photos 9, 10 et 11).

Un avant-bec léger fut nécessaire pour l'accostage du tronçon C11/P3 sur la pile P3. Il manquait 3 m et les contraintes architecturales ne permettaient pas de modifier l'entraxe des piles (photo 12).

Ensuite, l'ossature fut descendue sur les appareils d'appuis définitifs par déverinage successifs (photo 13) après la réalisation du raccordement en milieu de travées P2/P3 situé au-dessus de la Vilaine (photo 14).



Photo 14
Accostage charpente le 8 avril 2002
Structure berthing on 8 April 2002

Photo 15
Préfabrication
armatures tablier
*Prefabrication of deck
reinforcements*



Photo 16
Vue d'ensemble
Overall view



Photo 17
Vue
côté Ille-et-Vilaine
*Ille-et-Vilaine
side view*



Photo 18
Equipage plot
sur voie SNCF
*Studding rig
on railway track*



Compte tenu de la hauteur variable du pont, de sa courbe prononcée et de la longueur importante de la travée au-dessus de la Vilaine, le lançage de la charpente dut se faire des deux côtés à partir des deux culées C0 et C11.

Cette technique relativement courante fut parfaitement maîtrisée et a permis de démarrer le hourdis béton dès la mi-mai 2002.

■ RÉALISATION DU HOURDIS BÉTON

Après une interruption de 3 mois liée à l'intervention de Baudin-Chateaufort pour la charpente métallique, les travaux de génie civil reprirent début avril 2002.

Préalablement au début du lançage des armatures du tablier, le platelage de protection de la voie SNCF fut mis en place suspendu à la charpente.

Les armatures du tablier furent réalisées sur des aires de préfabrication en arrière des culées puis lancées par tronçon successif de 24 ml sur des chariots tractés par des treuils installés au droit de la pile P5. Le premier lancement intervint dès le raccordement des deux tronçons de charpente métallique effectué. Le tronçon C11 à P6 fut réalisé côté Loire-Atlantique, puis le reste côté Ille-et-Vilaine (photos 15, 16 et 17).

La pose des armatures se termina le 1^{er} août 2002. Courant mai, les équipages furent assemblés et le

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Fouilles en terrain ordinaire : 13 000 m³
- Fouilles en terrain rocheux : 3 000 m³
- Remblais : 13 000 m³
- Remblais contigus : 1 200 m³
- Béton de bouchon : 840 m³
- Pieux forés tubés : 37 u
- Béton B25 pour pieux : 822 m³
- Béton B30 pour appuis : 3 100 m³
- Béton B30 pour hourdis : 3 100 m³
- Armatures pour les appuis : 370 t
- Armatures pour le tablier : 823 t
- Coffrage : 14 000 m²
- Ecrans antibruit et garde-corps BN4 - 16 : 1 355 ml
- Corniches caniveaux : 357 ml
- Chape d'étanchéité : 8 000 m²
- Charpente métallique : 2 360 t
- Connecteurs : : 15 700 u
- Peinture : 15 510 m²

premier plot de bétonnage du tablier fut réalisé le 24 juin 2002. La cadence, après mise en route, était d'un plot de 12 ml par jour. Pour cela, deux équipages furent prévus (photos 18, 19).

Compte tenu des délais tendus de cette opération, les longrines support de BN4 de 1 m de large furent coulées en même temps que le hourdis. Afin de respecter les tolérances d'implantation en altimétrie et planimétrie sur ces longrines, des contraintes fortes furent imposées au chantier (photo 19). Le dernier plot fut bétonné le 8 octobre 2002.

■ MISE EN ŒUVRE DES ÉQUIPEMENTS ET DE L'ÉTANCHÉITÉ

Cet ouvrage est équipé de :

- ◆ garde-corps BN4-16 ;
- ◆ corniches caniveau ;
- ◆ écran antibruit ;
- ◆ étanchéité.

Compte tenu de la longueur importante de l'ouvrage et du délai très tendu, leur pose a débuté sur site en cours de réalisation du tablier béton et s'est achevée le 4 novembre 2002.

L'étanchéité réalisée est le complexe constitué d'une feuille semi-adhérente recouverte d'asphalte. Une fois les enrobés sur ouvrage réalisés (hors marché groupement) les joints de chaussée ont été posés les 28 novembre 2002 et 2 décembre 2002.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Conseil général de Loire-Atlantique et Conseil général d'Ille-et-Vilaine

Maître d'œuvre

En groupement Scetauroute - Atelier Gaudin (architecte)

Entreprises

En groupement ETPO - QUILLE - Baudin-Chateaufeuf

Sous-traitants et intervenants

- Etudes d'exécution béton : Cogeci
- Etudes d'exécution charpente : Secoa
- Etudes lancement charpente : Baudin-Chateaufeuf
- Terrassements : SER TP
- Fondations profondes : Spie Fondations
- Béton : BCB - Perrin
- Armatures : CIA Pose
- Coffrages : CTLM
- Corniches et écrans antibruit : TCMI
- BN4 - 16 : Euroéquipement
- Etanchéité : Bergeret
- Joints de chaussée : PCB



Photo 19
Fin des plots
End of studs



Photo 20
Vue
sur la Vilaine
*View
over the Vilaine*



Photo 21
Vue "dorée"
"Gilded" view



Photo 22
Vue d'ensemble
Overall view



Photo 23
Vue par l'architecte Gaudin
As seen by architect Gaudin

► ■ MISE EN SERVICE DE L'OUVRAGE

La mise en service de l'ouvrage eut lieu le 23 décembre 2002 et le résultat obtenu est à la hauteur des espérances (photos 20, 21, 22 et 23). A cette même période, la vallée de la Vilaine était à nouveau inondée alors qu'elle ne l'avait pas été l'année des travaux!

ABSTRACT

The viaduct over the Vilaine. Improvement of the bypass east of Redon between Ille-et-Vilaine and Loire-Atlantique

E. Størksen

A long awaited project!
Linking two cities, two "départements", two regions...
Opening up a structuring communication artery on the scale of the Far West...
Protecting a population basin from the nuisances of automotive traffic...
At the turn of the century, the Saint-Nicolas-de-Redon and Redon bypass will mark for a long time the development of our territory.
The viaduct over the Vilaine forms part of this project and symbolises this long awaited majestic link.
A composite two-girder structure 672 metres long and 25 metres high, resting on 10 piers, whose architectural profile fits in perfectly with the environment of the Vilaine Valley.

RESUMEN ESPAÑOL

El viaducto del río Vilaine. Acondicionamiento de la circunvalación este de Redon, entre los departamentos de Ille-et-Vilaine y del Loire-Atlantique

E. Størksen

Una estructura esperada desde hace tanto tiempo...
Para poner en comunicación dos ciudades, dos departamentos y dos regiones.
Para abrir un eje de comunicación estructurante a escala del Gran Oeste de Francia.
Preservar a una intensa población del ruido ambiental creado por el tráfico automóvil.
En el momento crucial del siglo, la variante de Saint-Nicolas-de-Redon y de Redon señala para mucho tiempo el acondicionamiento de nuestro territorio.
El viaducto del río Vilaine se centra en este proyecto y simboliza este vínculo majestuoso tan esperado.
Estructura mixta de doble viga de 672 m de longitud y 25 m de altura que toma

apoyo sobre 10 pilas, con un perfil arquitectónico que se inscribe perfectamente en el entorno del valle del río Vilaine.

Reconstruction du pont sur la Drôme sur A7

Deux ans de travaux sous circulation à pleine capacité

Les deux viaducs indépendants à poutres précontraintes (VIPP) permettant à l'autoroute A7 de franchir la Drôme dataient de 1965. Lors d'inspections détaillées de l'ouvrage, il est apparu que le risque de rupture de câbles de précontrainte conduisant à la ruine de l'ouvrage ne pouvait totalement être écarté. Etant donné le caractère vital de l'axe A7 pour l'économie française et européenne, et l'absence de toute alternative pour écouler le trafic quotidien sur cet axe (aujourd'hui environ 75 000 véhicules/jour), ASF a finalement décidé de procéder à la reconstruction complète des deux tabliers en maintenant en permanence trois voies ouvertes à la circulation pour chaque sens.

Ce chantier exceptionnel sur autoroute en service a nécessité la construction d'une déviation autoroutière avec ouvrage provisoire permettant d'assurer la continuité du service pendant les travaux. Malgré les mesures de sécurité prises, cinq pompiers ont trouvé la mort pendant les travaux en intervenant lors d'un accident sur l'ouvrage reconstruit. Qu'il nous soit aujourd'hui permis de leur rendre à nouveau hommage.

■ INTRODUCTION ET HISTORIQUE

Situé sur l'autoroute A7, entre les échangeurs de Valence sud et de Loriol, le franchissement de la brèche de la Drôme est assuré par un ensemble d'ouvrages. Un viaduc, constitué d'une structure centrale sur la rivière, est complété à chaque extrémité par un ponceau sur les voies sur berges. D'une longueur de 180 m, cette structure comporte deux tabliers de cinq travées, d'une largeur unitaire de 14,75 m dont 13,75 m roulables (soit trois voies de circulation dans chaque sens).

Ces tabliers ont été réalisés selon une technique très prisée dans les années 1960 : une structure à poutres et le recours au béton précontraint, définissant la famille des VIPP. A cette époque les règlements n'en étaient qu'à leur balbutiement, et la technique trop récente dans cette utilisation pour intégrer les retours d'expérience; d'où des ouvrages sensibles, qui présentent aujourd'hui une forte pathologie, voire même des signes de faiblesse inquiétants.

En effet, bien que l'aspect visuel soit impeccable, des inspections détaillées ont révélé que certains câbles de précontrainte du pont sur la Drôme présentaient des défauts notoires – (enrobage partiel ou manquant) voire graves (corrosion active, avec des ruptures constatées).

Ajoutée à ces constats, la difficulté dans l'établissement du diagnostic (complexité des mesures dans leur interprétation) ne permettait pas d'évaluer l'état structurel exact de chacune des parties d'ouvrage. En tout état de cause, on ne pouvait



Vue aérienne du chantier et de la déviation
Aerial view of the project and the diversion

conserver cet ouvrage en l'état sans intervention urgente.

Le trafic étant de 72 400 V/J à ce niveau, dont 20,3 % de PL, on imagine l'incidence d'une défaillance, aggravée par l'absence de tout itinéraire de substitution pouvant accepter le report de trafic induit (paralysie immédiate et permanente des réseaux secondaires, absolument insupportable pour les riverains et le flux en transit).

■ RENFORCEMENT, APPEL D'OFFRES ET DÉVIATION PROVISOIRE

En premier lieu, des travaux de mise en sécurité des zones considérées les plus fragiles ont été en-

Luc Borgna



**DIRECTEUR RÉGIONAL
ADJOINT**
Autoroutes du Sud de la France
(ASF) - Direction Régionale
d'Exploitation de Valence

Amélia Rung



**CHEF DU SERVICE
TECHNIQUE GÉNIE CIVIL**
Autoroutes du Sud de la France
(ASF) - Direction Régionale
d'Exploitation de Valence

Philippe Barry



**ATTACHÉ OUVRAGES
D'ART**
Autoroutes du Sud de la France
(ASF) - Direction Régionale
d'Exploitation de Valence

Reprise
des chevêtres
*Reworking
the joists*



Vue de la structure
métallique
avant la pose
des dalles
*View of the steel
structure prior
to laying the slabs*



► trepris : à savoir un renforcement par collage de tissu de fibres de carbone sur les abouts de trois poutres les plus sensibles de chaque travée (deux sous bande d'arrêt d'urgence (BAU) et une côté terre-plein central (TPC)).

En parallèle a été décidé le lancement de deux études distinctes : la première de réhabilitation par précontrainte extérieure, la seconde de démolition/reconstruction des deux tabliers ; chacune devant en outre intégrer des solutions techniques adaptées et respecter l'esthétique préconisée par un architecte. Après analyse des offres transmises à l'issue de la consultation, le choix d'ASF s'est porté sur la deuxième solution, en retenant une variante technique d'entreprise consistant en la réalisation d'un ouvrage mixte : sur la base d'une structure quadri-poutres métallique, avec un tablier en béton armé réalisé par assemblage de dalles préfabriquées.

De plus, il a été décidé de mettre à profit cette orientation pour une expérimentation visant à compléter les connaissances acquises, mais incomplètes, sur ce type de structure et tenter de permettre

d'apprécier ultérieurement les potentialités de leur évolution en fonction des constatations faites.

C'est ainsi qu'une convention de partenariat a été établie entre ASF, le LCPC et RCA afin de réaliser une série de tests qui ont concerné l'examen du comportement : d'une travée, sous rupture organisée de certains câbles bien définis (position, poutre concernée...), d'une poutre, sous son poids propre, avec rupture organisée également de certains de ses câbles.

Ont participé à ces essais, qui se sont déroulés fin 2001, début 2002 : le CEBTP et le Laboratoire régional du CETE de Lille pour des appareillages spécifiques et les mesures en conséquence, JMI pour l'ensemble des calculs structurels, et RCA pour l'exploitation générale en liaison avec les différents acteurs. Les données recueillies lors de ces expérimentations sont encore en cours d'analyse.

Le niveau de trafic dans cette section de la vallée du Rhône et l'absence totale de toute alternative capable d'accueillir ne serait-ce qu'un sens de circulation ont imposé de retenir un mode de réalisation des travaux permettant d'écouler la totalité du trafic (y compris les migrations estivales et leurs pointes à 150 000 véhicules/jour). Les faiblesses de l'ouvrage interdisant notamment l'utilisation de la BAU pour faire passer la circulation, il fut impossible de faire passer le trafic sur un seul tablier en 2 + 2 et 0. De plus, la réduction de capacité de trois à deux voies n'aurait pas été supportable toute l'année et aurait nécessité un phasage encore plus tendu.

L'engagement des travaux imposait donc la réalisation préalable d'une déviation provisoire à trois voies et BAU. Réalisée à l'ouest de l'ouvrage existant, elle a franchi la Drôme grâce à un pont métallique construit spécialement pour l'occasion. Sa mise à disposition a été régie par un contrat de location sur 2 ans. La phase "déviation provisoire" a représenté le tiers du coût de l'opération et a demandé 8 mois de travaux avant sa mise en service, en novembre 2001. Elle a permis ainsi de dévier le trafic du sens de circulation nord/sud durant toute la durée des travaux et donc de disposer en permanence d'un des deux tabliers pour la réalisation des travaux.

Bien que les caractéristiques géométriques de la déviation provisoire soient confortables en largeur de voies, celle-ci a fait l'objet d'une limitation de vitesse à 90 km/h, afin de minorer les risques d'accident liés notamment à la géométrie en plan imposée par le dévoiement de la circulation. Lors de la seconde phase de chantier, alors que le sens sud-nord était dévié sur le nouveau tablier, la même limitation a été appliquée. Force est de constater que le non-respect des consignes de sécurité a sans aucun doute été une des causes de l'accident du 29 novembre 2002 qui coûta la vie à cinq pompiers de la caserne de Loriol et blessa deux autres pompiers et un agent de la société ASF.

■ DÉMOLITION DU PREMIER TABLIER – DÉCEMBRE 2001

La phase de démolition du premier tablier a débuté fin décembre 2001. La première opération a consisté en l'évacuation de tous les équipements de superstructures, y compris la couche de roulement. Une plate-forme a ensuite été réalisée sous l'ouvrage, par réglage des matériaux dans le lit de la rivière. Des pelles mécaniques, équipées de pinces brise-béton, sont entrées en action. En commençant par l'avant-dernière travée sud, hourdis et poutres sont détruits et évacués simultanément en décharge.

Cependant, les incidences et l'impact sur l'environnement de ces travaux (démolition, approvisionnement et stockage futur des matériaux de reconstruction) s'avèrent généralement conséquents. Ce contexte a conduit ASF à prendre de larges contacts avec les services de l'état, en l'occurrence la Mission Inter-services de l'Eau (MISE) et diverses associations écologiques, pour mener une étude hydraulique et déposer une demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. Ces démarches ont permis de définir des procédures permettant de préserver la qualité des eaux, avec notamment l'interdiction de travailler au-dessus du "lit mouillé", et de protéger la faune.

■ RÉFECTION

Environ un mois et demi a été nécessaire pour la démolition complète du tablier. Seul ce dernier a été concerné, les appuis ayant été conservés moyennant remise en état : nettoyage général sous jet à haute pression, réparation complète des zones de béton dégradé, notamment de leur partie haute, le chevêtre.

L'épaisseur de la reprise a été conditionnée par la profondeur de l'agression du béton, de l'ordre de 7 à 10 cm (déterminée in situ).

Dans la même opération, il a été procédé à la réfection des bossages inférieurs selon les besoins de la structure nouvelle.

■ APPROVISIONNEMENT DES BIPOUTRES MÉTALLIQUES

Pendant la même période, l'ensemble de la structure a été fabriqué en usine : les poutres métalliques, au Puy-en-Velay ; et les dalles préfabriquées du tablier, dans une installation de préfabrication à Romagneux.

L'approvisionnement de l'ensemble a été réalisé depuis l'échangeur de Loriol (distant de 1 000 m), par la plate-forme autoroutière et en convois exceptionnels pour les poutres, livrées par bipoutres entretoisées.

■ POSE DES BIPOUTRES ET SOUDURE

En effet, l'ossature métallique comporte quatre poutres continues sur l'ensemble de la longueur de l'ouvrage, posées sur six lignes d'appuis, qui déterminent les cinq travées.

Mais les contraintes structurelles de fabrication et de transport ont conduit à un découpage transversal en bipoutres, et longitudinal en six tronçons ; le premier de 25 m, le second de 20 m, les trois suivants de 35 m et le dernier de 25 m. Les bipoutres des deux premiers tronçons ont été assemblées au sol par soudage, et l'élément de 45 m ainsi constitué a été posé à l'aide d'une grue sur chenilles de 300 t.



Vue de la structure quadri poutres pendant la crue de la Drôme

View of the four-girder structure during the flooding of the Drôme

Si la masse des éléments demeurait raisonnable, leur prise au vent et la distance entre la grue et le lieu de pose ont constitué des contraintes importantes.

L'ensemble a nécessité donc des moyens de forte capacité, mais également une excellente maîtrise de la part des intervenants ainsi qu'une quasi absence de vent dans ce pays de mistral.

La construction a commencé à partir de la culée nord. La pose a été poursuivie bipoutre par bipoutre jusqu'au sud. La continuité longitudinale a été assurée par soudage sur place. Les deux lignes de bipoutres ont été ensuite reliées transversalement par soudure d'entretoises.

■ REPRISE DES PONCEAUX

L'opération générale imposait également la reconstruction des dalles des ponceaux nord et sud, qui ne pouvaient s'adapter à la structure de l'ouvrage neuf (géométrie transversale supérieure, fonctionnement sous changements climatiques différents, etc.).

► ■ MISE EN PLACE DES DALLES PRÉFABRIQUÉES

Le travail depuis le lit de la Drôme a été très avantageux pour l'avancement du chantier. Mais si la plupart du temps, la rivière est assez calme et coule sous une seule travée, elle peut à tout moment sortir de son lit et en occuper la totalité. Des précautions ont donc été prises pour que les engins et matériaux mis en service dans le lit de la rivière soient évacués dès la première alerte. Et celles-ci se sont avérées utiles car le 16 novembre 2002, sous l'effet de pluies torrentielles prolongées, la Drôme a atteint le niveau de sa crue décennale.

Pose d'une dalle préfabriquée

Laying a prefabricated slab



Pendant les 35 jours qui ont suivi, la Drôme a occupé la totalité de son lit, mais le chantier a toutefois pu se poursuivre.

Ces dispositions ont été rendues possibles grâce aux techniques de préfabrication des éléments en usine. Elles présentent un grand intérêt car elles nécessitent peu de travail sur la zone de chantier, d'où un gain de main d'œuvre et de temps, notamment pour la durée de séchage du béton. Cette solution quadri-poutres/dalles préfabriquées permet également de supprimer la précontrainte transversale.

Ainsi la rapidité d'exécution a été remarquable. Toutes les dalles de ces ouvrages, soit un total de 280 (140 par tablier) ont été produites dans une usine entre Lyon et Chambéry. Elles ont ensuite été assemblées comme un gigantesque "mécano". A noter la grande précision dans leur conception et fabrication qui a permis un assemblage sur site au centimètre près.

Le premier tablier du pont sur la Drôme a été monté en 6 mois.

■ CLAVAGE ET LONGRINES BÉTON

Les travaux de clavage, c'est-à-dire la connexion des dalles béton à la structure métallique, demandent une attention particulière car ils assurent à l'ensemble de l'ouvrage sa rigidité. Les dispositions constructives retenues ont imposé pour le cas présent, le recours à un béton d'une excellente résistance.

C'est donc un mélange spécifique qui a été mis en œuvre, moyennant des précautions particulières pour éviter la fissuration et améliorer la finition de surface.

Les longrines des équipements de sécurité barrières normalisées (BN4), ainsi que les raccordements avec les glissières extérieures de l'ouvrage, ont aussi été réalisés sur le chantier, complétés par le montage des barrières métalliques afin d'assurer la sécurité en rive.

■ ÉTANCHÉITÉ, DRAINAGE DE SURFACE

A ce stade, le tablier a été préparé pour recevoir une étanchéité destinée à protéger l'ensemble de la structure. L'application du mélange retenu, d'une épaisseur de 30 mm, a nécessité trois opérations : l'application du vernis d'accrochage, la mise en œuvre d'une couche d'asphalte pur, puis de sa protection constituée d'un mélange d'asphalte et de gravillons.

Sur chaque rive et contre les longrines béton, a également été réalisé un caniveau. Sa fonction principale consiste en la collecte des eaux de surface et assure leur guidage rapide vers les évacuations.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Autoroutes du Sud de la France

Maîtrise d'œuvre

Scetauroute Lyon

Entreprises

En groupement : Campenon Bernard Régions (mandataire) - Freyssinet - Gagne - EGT

Sous-traitants

- Etudes : EEG Simecsol
- Chaussées : Sacer Sud-Est
- Fourniture et pose des aciers HA : SAMT
- Soudage sur site : Dima International
- Peinture du tablier : Peretti/HTP/Exopeint
- Montage : Transports Couturier (TMC)
- Corniches et BN4 : Comely
- Étanchéité des ouvrages : Les Asphalteurs Réunis
- Parement bois des culées : Sud Est Charpente

■ MISE EN ŒUVRE DES ENROBÉS

Le raccordement avec la partie conservée de l'autoroute a été préparé par rabotage. Puis une couche de béton bitumineux résistant à l'orniérage de 5 cm ainsi qu'une couche de roulement en béton bitumineux très mince d'une épaisseur de 2,5 cm environ ont été appliquées. Du fait de la bonne géométrie de l'ouvrage, chacune des deux couches a été appliquée à "vis calées".

■ CONFECTION DES JOINTS DE CHAUSSÉE

En dernier lieu a eu lieu la pose des joints de chaussée, au nombre de deux, à chaque extrémité de l'ouvrage. Leur rôle est de permettre la libre dilatation du tablier sous les variations de température. Ils assurent donc le passage des véhicules sur l'espace vide nécessaire entre l'ouvrage et les remblais. Ce sont des équipements qui requièrent une pose minutieuse, ce qui a nécessité de la part des opérateurs une grande vigilance. Ils ont dû respecter strictement le profil de la chaussée adjacente, et régler de manière précise le vide entre les éléments. Cette ouverture garantit leur bon fonctionnement et donc leur durée de vie.

■ ÉPREUVES EN CHARGE

La dernière opération importante avant l'ouverture à la circulation fut l'épreuve de chargement des tabliers. Ces tests effectués à l'aide de camions six roues rigoureusement lestés et installés successivement à des points précis, ont permis de vérifier que le comportement de l'ouvrage terminé était conforme aux prévisions des calculs, déformations en milieu de travée, et mouvements éventuels sur appuis.

■ MARQUAGES HORIZONTAUX

Quelques heures avant la mise en service, l'objectif visé a été atteint. Le marquage jaune provisoire a été effacé, et il ne resta plus que les peintures définitives à appliquer. Une nouvelle signalisation blanche est aujourd'hui implantée, ceci pour la plus grande sécurité de circulation de nos clients.

■ CORNICHES ET TRAITEMENT ARCHITECTURAL

Du fait de l'impact de l'ouvrage sur le milieu environnant, ASF a fait appel au concours d'un architecte pour un traitement approprié, mais sobre, de certains éléments.



Vue du tablier en dalles préfabriquées avant clavage

View of the prefabricated slab deck prior to keying

C'est ainsi que corniches (en rive extérieure de chaque tablier), et culées, ont fait l'objet d'une définition et d'un traitement spécifiques accentuant l'image de l'ouvrage.

Les premières présentent une enveloppe générale en rapport avec la finesse de la structure. Outre cette fonction d'habillage, elles recueillent l'ensemble des réseaux de transmission de données dont elles assurent le passage, avec notamment les multiples fibres optiques utilisées tant par ASF que par les opérateurs sous contrat.

Les secondes ont reçu une vêtue constituée de lames bois – fixées sur les parements par l'intermédiaire d'une ossature métallique – traitées aussi bien contre les parasites qu'en protection d'une pollution plus culturelle : les tags.

■ PHASAGE DES TRAVAUX

L'ensemble des travaux nécessaires à la démolition et à la reconstruction du pont sur la Drôme était programmé à partir de décembre 2001, avec achèvement impératif du second tablier au 18 juin 2003 pour une remise en service avant les départs en vacances. Malgré des perturbations conséquentes occasionnées par la Drôme en crue à la fin de l'année 2002, l'entreprise a livré le second tablier le 16 avril 2003, soit avec deux mois d'avance. Cet aboutissement n'aurait pas été possible sans une excellente organisation de ses moyens et l'enchaînement des tâches.

Ont également contribué à cette réussite une bonne collaboration entreprise et maîtrise d'œuvre et des échanges quasi permanents maîtrise d'œuvre - maîtrise d'ouvrage pour les décisions touchant des points délicats. Ce fonctionnement général permet d'évoquer une certaine forme de partenariat qui a conduit au succès de ce challenge.

Il importe également de souligner le travail actif et la collaboration permanente pendant toute la durée du chantier, et plus particulièrement dans toutes les phases d'approvisionnement, des services d'exploitation du district de Valence. Leur action effi-

► cace a permis d'optimiser les périodes nécessaires, permettant de ce fait aux entreprises des possibilités d'accès plus étroitement associées aux besoins réels et généralement supérieures à celles prévues initialement.

■ BILAN FINANCIER

Le coût global des travaux de réhabilitation du pont sur la Drôme s'élève à 13,8 M€ HT.

- ◆ 10 % concerne les expérimentations, la maintenance et la sécurité ;
- ◆ 40 % pour la construction et la location de la déviation provisoire ;
- ◆ 50 % pour la reconstruction soit un ratio au mètre

carré de l'ordre de 1 343 € HT.

ABSTRACT

Reconstruction of the bridge over the Drôme on the A7 motorway. Two years' work under full-capacity traffic

L. Borgna, A. Rung, Ph. Barry

The two independent prestressed-girder viaducts carrying the A7 motorway across the Drôme dated from 1965. During detailed inspections of the structure, it became apparent that the risk of failure of prestressing tendons leading to the collapse of the structure could not be completely ruled out. Given the vital nature of the A7 trunk road for the French and European economies, and the lack of any alternative for handling the daily traffic on this road (currently about 75,000 vehicles per day), ASF finally decided to perform complete reconstruction of the two decks while maintaining three lanes constantly open to traffic in both directions.

This exceptional project on a motorway in service required the construction of a motorway diversion with a temporary structure to ensure continuity of service during the works. In spite of the safety measures taken, five firemen met their death during the works when responding to an accident on the reconstructed structure. Let us pay tribute to them here once again.

RESUMEN ESPAÑOL

Reconstrucción del puente del río Drome en la autopista A7. Dos años de obras sin interrumpir el tráfico rodado con total y entera capacidad

L. Borgna, A. Rung y Ph. Barry

Los dos viaductos independientes de vigas pretensadas que permitían a la autopista A7 salvar el río Drôme ascendían a 1965. Con motivo de diversas inspecciones detalladas de su estructura, se ha podido apreciar que el riesgo de ruptura de cables de pretensado que conducían a la ruina total de su estructura no se podían descartar totalmente. Dado el carácter vital del eje de comunicaciones A7, tanto para la economía francesa como europea, y en ausencia de cualquier otra variante para el tráfico rodado diario en este eje (en la

actualidad 75.000 vehículos diarios), ASF ha tomado la decisión de proceder a la reconstrucción completa de los dos tableros, manteniendo de forma permanente tres canales abiertos a la circulación para cada sentido.

Estas obras excepcionales en una autopista en servicio ha precisado la construcción de una variante de la autopista mediante una estructura provisional que permite obtener la continuidad del servicio durante las obras. Pese a las medidas de seguridad tomadas, cinco bomberos han fallecido durante las obras al intervenir en éstas con motivo de un accidente acaecido en la estructura reconstruida. Estas líneas nos permitirán rendir de nuevo un sentido homenaje a estas víctimas.

Les ponts-rails de Pantin

Le remplacement de cinq ouvrages au cœur du réseau ferré à la sortie de la gare de l'Est

Jean-Claude Gincourt
DIRECTEUR D'OPÉRATION DÉLÉGUÉ
SNCF - Direction de Paris Est - Division
Maintenance Ingénierie

David Keller



INGÉNIEUR D'ÉTUDES
GC, RESPONSABLE
D'AFFAIRES
SNCF Direction de l'Ingénierie -
Département des Ouvrages d'art

Le remplacement des cinq tabliers métalliques centenaires de Pantin a été réalisé dans la période du 5 juillet 2003 au 17 août 2003 au moyen d'un système original de manutention. Les ouvrages anciens ont été évacués par voie ferrée sur des lorries automoteurs circulant sur des poutres de roulement. Des tours de vérinage permettaient la montée ou la descente du système. Les tabliers neufs ont été mis en place par le procédé inverse sur des sommiers qui ont été entièrement préfabriqués. Ce chantier n'aura perturbé la circulation ferroviaire et routière que pendant deux mois avec un remplacement effectif des tabliers en trois fois quinze jours (soit 1 mois et demi).

LES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

L'été est chaque année l'occasion de procéder à des travaux d'entretien et de renouvellement d'ouvrages d'art qui pénaliseraient trop les circulations ferroviaires à toute autre époque de l'année. Pendant les mois de juillet et août 2003, les cinq tabliers métalliques isostatiques, construits en 1900 ont été remplacés. Ces tabliers supportent les voies V1 - V2 - V1 Eole - V2 Eole - V2 bis de la travée n° 1 de la ligne Paris-Est à Mulhouse Ville au point kilométrique 4,924 qui franchissent l'avenue du Général Leclerc sur la commune de Pantin (figures 1 et 2).

Du fait de l'enchâssement de ces ouvrages au milieu d'une dizaine de voies où passent 1 000 trains par jour, cette opération concentre la plupart des difficultés inhérentes aux travaux réalisés en site urbain (artère routière très circulée, présence d'un carrefour) et en site ferroviaire exploité.

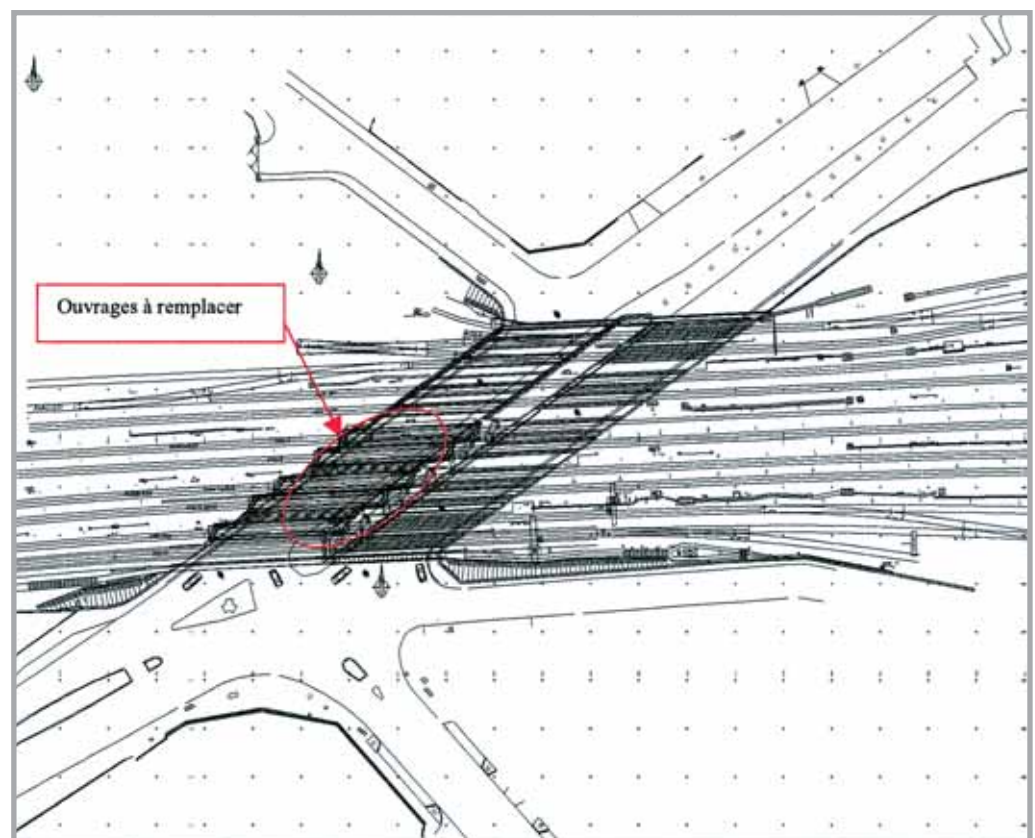


Figure 1
Plan de situation
Location drawing

Figure 2
Coupe transversale des ouvrages anciens
Cross section of the old structures

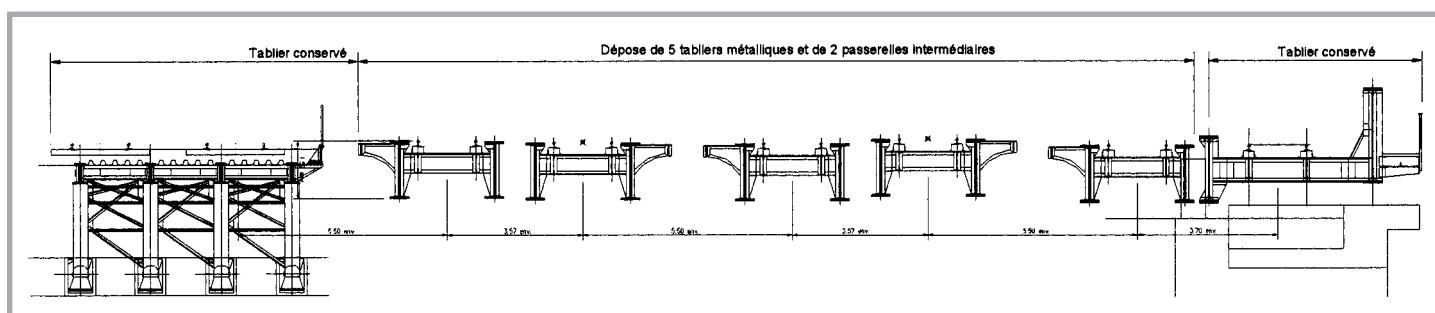


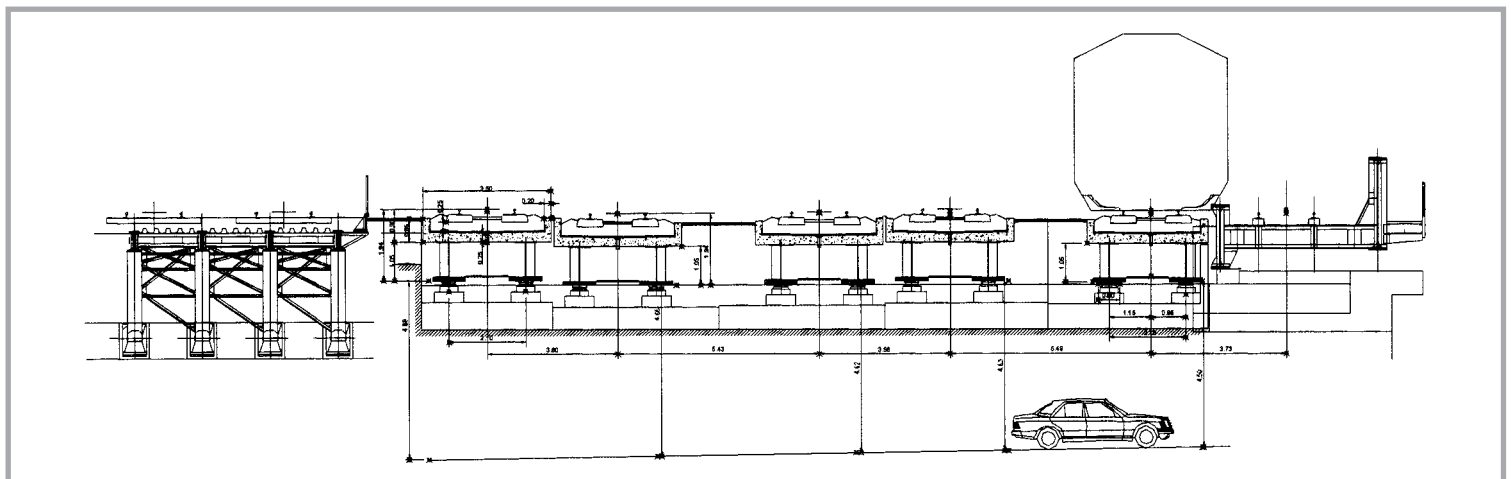
Photo 1
Fissure
sur culée
*Crack
on abutment*



Photo 2
Fissure
sur culée
*Crack
on abutment*



Figure 3
Coupe transversale
des ouvrages neufs
*Cross section
of the new structures*



■ URGENCE DES TRAVAUX
DE REMPLACEMENT

Le remplacement des cinq ponts-rails de Pantin faisait partie du programme de régénération global du réseau ferré français. Une attention particulière était déjà portée sur ces ouvrages qui avaient connu plusieurs campagnes de réparation et sur lesquelles la vitesse des circulations avait été limitée à 80 km/h au lieu de 120 km/h. Leur remplacement était prévu pour l'année 2004. Cependant, dans le cadre du suivi spécial de ces ouvrages, le 24 mai 2002, une fissure parallèle au parement de la culée et proche d'un appareil d'appui (photos 1 et 2) est découverte sur la culée du tablier V2 côté Paris. Un ralentissement des circulations à 40 km/h est aussitôt mis en place. Des travaux de confortement d'urgence sont définis et la fissure est aussitôt équipée de capteurs. Les premiers relevés montrent que l'ouverture de la fissure varie en fonction de la température (figure 4). En revanche, elle a tendance à se fermer au passage des trains. Dès la réalisation des premiers travaux de confortement (mise en place des premiers tirants), les enregistrements montrent que l'amplitude des mouvements de la fissure a diminué. A la fin des travaux, les enregistrements montrent que la variation d'amplitude de la fissure s'est stabilisée et que les légers déplacements résiduels sont dus aux variations de température. La vitesse de circulation est alors autorisée à 80 km/h sur l'ouvrage.

Toujours sous haute surveillance, il est constaté le 25 octobre 2002, lors d'une visite hebdomadaire une cassure de l'attache d'une pièce de pont signalée sans avarie jusque-là sur la culée du tablier V2 côté Paris. Un ralentissement des circulations ferroviaires à 40 km/h sur cette voie est de nouveau mis en place jusqu'à la réalisation de travaux de réparations provisoires (triplure au droit de l'attache concernée) achevées le 13 novembre 2002. Un ralentissement à 80 km/h est mis en place sur les cinq tabliers jusqu'à leur remplacement définitif.

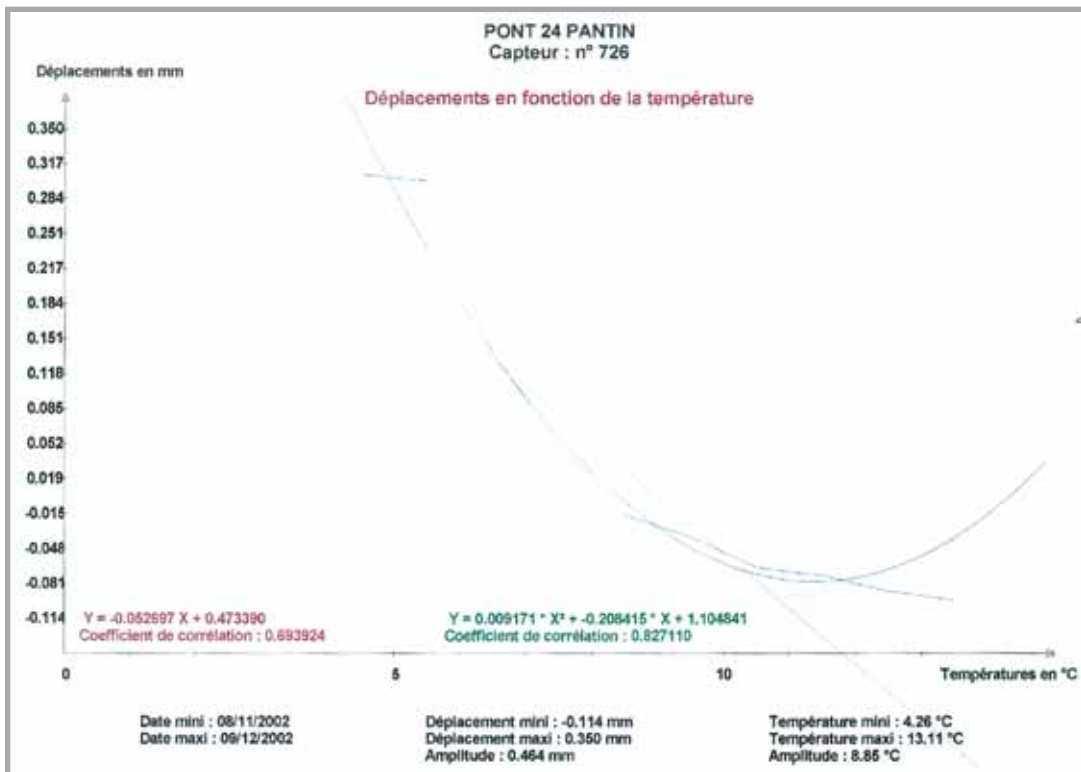


Figure 4
Variation des ouvertures de fissures en fonction de la température

Variation in crack openings as a function of temperature

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

RFF - DOI du Bassin Parisien

Maître d'ouvrage délégué

SNCF - Direction de Paris Est - Division Maintenance et ingénierie (Paris)

Maître d'œuvre général

SNCF - Direction de Paris Est - Pôle Ingénierie (Paris)

Maître d'œuvre Etude - Conception - Contrôle

SNCF - Direction de l'Ingénierie - Département des Ouvrages d'art (Paris)

Maître d'œuvre travaux

SNCF - Direction de Paris Est - Agence Travaux (Paris)

Entreprise mandataire

Rabot Dutilleul (Wasquehal)

Ossature métallique

Etablissement J. Richard-Ducros (Alès)

Injections

Solétanche Bachy (Paris)

Manutention

Sarens (Wolvertem - Belgique)

Démolition

Stips (Paris)

Voies

Offroy (Paris)

■ CHOIX TECHNIQUES

Compte tenu du gabarit routier et de l'épaisseur des tabliers à respecter (1,95 m entre le rail et la sous-poutre), la SNCF qui a réalisé l'ensemble des études de conception au sein du Département des Ouvrages d'art de la Direction de l'ingénierie (IGOA) retient des ouvrages du type bipoutre mixte métal/béton, isostatiques à une voie ballastée, de hauteur constante avec un hourdis supérieur en béton armé (figure 3). Les nouveaux tabliers ont une portée de 27,00 m. Pour diminuer leur poids lors des phases de manutention, le béton de la dalle est un béton léger (densité comprise entre 1,8 et 2 t/m³). Afin de faire face à des délais de réalisation très tendus (ordre de service donné à l'entreprise attributaire le 2 janvier 2003 pour un début d'opération de substitution le 5 juillet 2003), le Département des Ouvrages d'art (IGOA) de la SNCF réalise l'étude d'exécution de l'ossature métallique des cinq ouvrages (mission confiée habituellement à l'entreprise).

Cette anticipation permet à l'entreprise attributaire du marché de commander les tôles auprès des forges dès l'ordre de service et de gagner environ un mois sur le planning général de l'opération. Afin de gagner encore trois semaines sur le planning, le Département des Ouvrages d'art (IGOA) propose dans son dossier de consultation des entreprises la préfabrication des hourdis ce qui permet de mener en parallèle la fabrication de l'ossature métallique et la réalisation des dalles.

Initialement, la durée de coupure des circulations

ferroviaires et routières nécessaire pour remplacer chaque tablier était de 15 jours, soit 2 mois et demi de perturbation des circulations. C'est pourquoi afin de réduire les durées de coupures ferroviaire et routière et de faciliter l'aménagement des maçonneries (entraxe et espace de travail augmenté), la SNCF a décidé de "coupler" le changement de certains tabliers (V1 et V2, V1 Eole et V2 Eole). Ces couplages ont permis de gagner un mois sur les perturbations ferroviaires à la sortie immédiate de la gare de l'Est engendrées par les travaux de substitution des tabliers. L'ouvrage V2 Bis très délicat en terme de démolition de culée a été remplacé seul. La circulation routière a été coupée sous la première travée puis déviée pendant deux mois sous la deuxième travée.

Le phasage des travaux ouvrage d'art pour le remplacement de deux tabliers est le suivant :

◆ avant la coupure de 15 jours :

- fabrication des tabliers mixtes,
- fabrications des nouveaux sommiers,
- confortement des fondations ;

◆ en coupure de 15 jours :

- coupure des circulations ferroviaires,
- dépose des tabliers anciens par les voies ferrées,
- amenée des ouvrages neufs par les voies ferrées,
- démolition des maçonneries,
- mise en place des nouveaux sommiers,
- mise en place et descente sur appuis des tabliers neufs,
- réglage et scellement du tablier,
- équipements ferroviaires,
- reprise des circulations ferroviaires.

Photo 3
Mise en place
de l'ossature métallique
sur zone de stockage

*Placing the steel
framework
in a storage area*



Photo 4
Aire de préfabrication
des dalles

*Slab
prefabrication area*



Photo 5
Tabliers entièrement
terminés

*Fully completed
decks*



Photo 6
Aire de préfabrication
des sommiers

*Springer
prefabrication area*



■ PRÉPARATION DES TABLIERS ET DES SOMMIERS SUR LEUR ZONE DE PRÉFABRICATION

Le chantier a débuté par la fabrication des ossatures métalliques dans les ateliers de l'entreprise J. Richard-Ducros. Par la suite, ces ossatures métalliques ont été livrées par convoi exceptionnel routier et positionnées sur des palées provisoires métalliques montées sur une aire de chantier située sur des voies de service (photo 3). L'assemblage des dalles préfabriquées a été effectué par clavage transversal et longitudinal de 12 pièces par tablier (photo 4). Le hourdis supérieur a été coulé et étanché entièrement avant mise en place (photo 5).

En parallèle les équipes de Rabot Dutilleul ont entamé avec un soin particulier la réalisation des sommiers préfabriqués (10) et murs intermédiaires (4) en béton léger pour limiter au maximum leur poids (photo 6).

■ MATÉRIELS DE SUBSTITUTIONS

La réussite des opérations de substitution reposait sur un système original de Kamag - Portique - Poutre - Lorries permettant la dépose des anciens ouvrages et la pose des ouvrages neufs. Deux Kamags 2400 (engins automoteurs) sont reliés entre eux par des HEB 1000 et supportent quatre tours de vérinage d'une capacité unitaire de 600 t. Les tours de vérinage, coiffées de poutres munies d'un rail permettant le cheminement des lorries, assurent la montée ou la descente de l'ensemble avec un rendement de 1,00 m à l'heure. Les lorries automoteurs ont été spécialement conçus pour cette opération par l'entreprise Sarens et ont permis l'acheminement des tabliers sur les voies. Le lorry est composé d'un châssis mécano soudé (S355) supporté par trois essieux dont seul l'essieu central est motorisé par un moteur hydraulique (cf. encadré "Caractéristiques du lorry").

CARACTÉRISTIQUES DU LORRY

- Longueur : 4,36 m
- Largeur : 2,85 m
- Hauteur : 1,24 m
- Nombre d'essieux : 3
- Distance entre essieux : 1,50 m
- Poids : ± 15 000 kg
- Capacité : 62,5 t/essieu
- Vitesse : 0-60 m/min
- Force d'entraînement par essieu : ± 4,4 t

L'avantage de ce système réside dans le fait que toutes les opérations sont réalisées par en dessous évitant ainsi toute intervention au niveau du plan de circulation des trains. Le système de manutention complet a été amené depuis la Belgique par treize semi-remorques, monté sur site (photo 7) puis positionné sous l'ouvrage quelques jours avant la première opération de substitution. Tout est prêt pour la dépose des anciens tabliers.

■ DÉPOSE DE L'OUVRAGE ANCIEN

Le samedi 5 juillet 2003 à 1h30 du matin, les voies ferroviaires sont interceptées. La première opération démarre, après de long mois de préparation, l'entreprise Offroy débute la dépose des voies. Le "top départ" est donné. Pendant que l'entreprise Solétanche démarre des forages pour la réalisation d'une berlinoise permettant d'éviter la déconsolidation des voies à proximité et permettant d'assurer la sécurité du personnel lors des démolitions des maçonneries anciennes, les vérins du système de manutention entrent en action (figure 5). L'opération de dépose de l'ouvrage ancien a enfin débuté. Le samedi matin, après plus d'un siècle de bons et loyaux services, les 70 t de fer du tablier ancien domine le chantier (photo 8 et figure 6). Le système complet entame alors une translation vers la culée pour recevoir en about un rail provisoire qui permet de faire la liaison entre les voies ferrées et le portique (photo 9 et figure 7).



Photo 7
Dépose
d'un ancien tablier
*Removing
an old deck*



Photo 9
Raccordement de la voie et la poutre de roulement
Connecting the track and the running beam



Photo 8
Système de manutention
Handling system

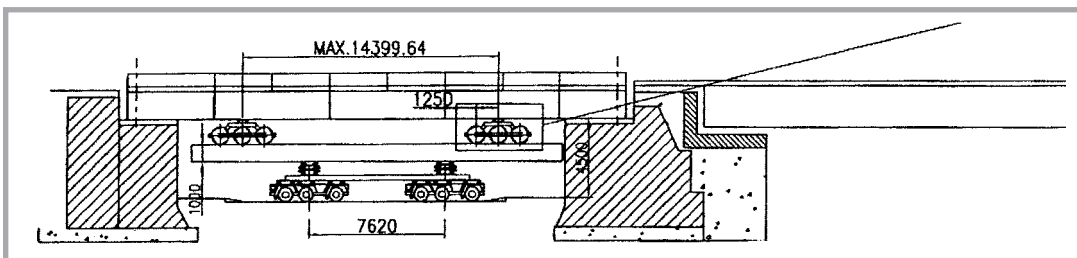


Figure 5
Positionnement
du Kamag avec système
de levage sous le tablier
*Kamag carrier positioning
with lifting system
under the deck*

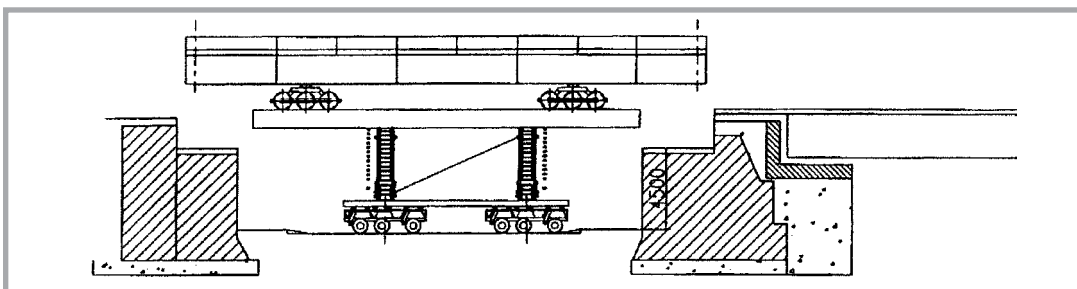


Figure 6
Levage du tablier
Lifting the deck

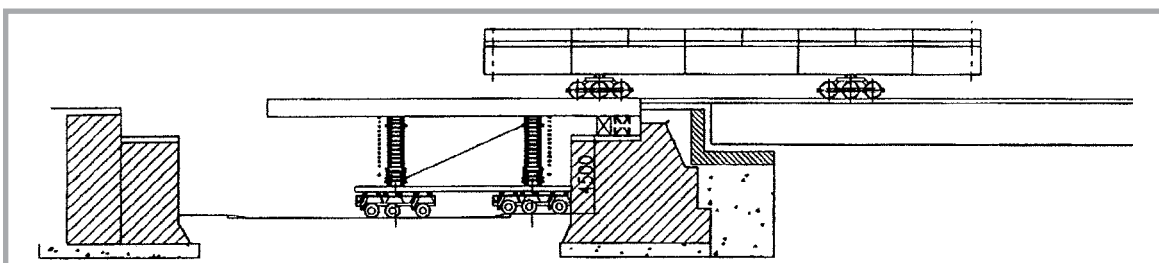


Figure 7
Déplacement
de l'ensemble
vers la culée
*Shifting the assembly
toward the abutment*

Figure 8
Evacuation
du tablier ancien
*Removal
of the old deck*

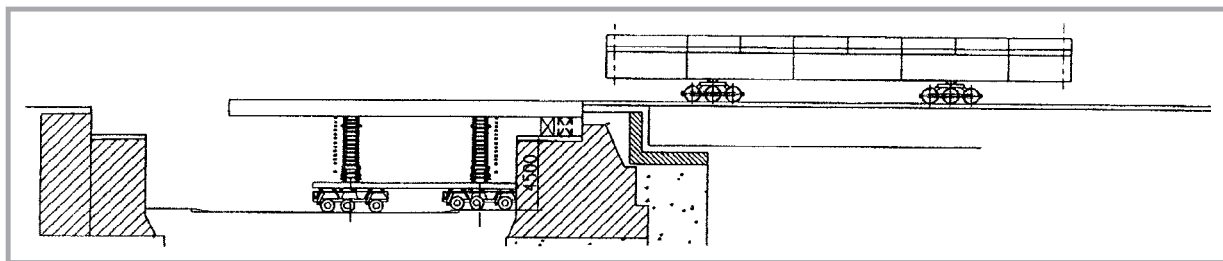


Photo 10
Démolition
de la culée
*Demolition
of the abutment*



Photo 11
Amenée d'un sommier
par Kamag
*Bringing in a springer
by Kamag carrier*



Photo 12
Mise en place d'un sommier
Installing a springer

► Les moteurs des lorries sont mis en route, les butées bloquant les châssis sont enlevées et doucement le tablier est évacué sur les voies (figure 8). Le système de manutention est reconditionné puis repositionné sous le deuxième ouvrage, qui est levé, ripé et évacué dans l'axe de l'ouvrage précédent pour permettre d'envoyer les deux tabliers, en convoi, le dimanche matin vers une zone de stockage où ils seront ferrailés.

mier est alors pris en charge à l'aide du portique muni de vérins avaleurs permettant de soulever le colis (35 t pour le plus lourd). Lorsque le sommier est à la bonne altitude, les Kamags entrent alors en action pour déplacer l'ensemble et acheminer précisément le nouveau sommier à sa position définitive (photo 12). Le vendredi 11 juillet au soir, les quatre nouveaux sommiers sont mis en place, scellés et prêts à recevoir les nouveaux tabliers.

■ AMÉNAGEMENT DES CULÉES

Dès le dimanche 6 juillet, les engins de démolition de l'entreprise Stips entrent en action pour démolir les culées avec toutes les précautions nécessaires liées aux travaux en site exploités (photo 10). Les démolitions et les évacuations des déblais sont réalisées en trois jours. Le mercredi, le premier sommier est transporté depuis sa zone de préfabrication par Kamag sur le chantier (photo 11) à la grande surprise de certains passants ; les compagnons de Rabet Dutilleul viennent de terminer la préparation du support et le géomètre de vérifier encore une dernière fois les implantations. Le som-

■ MISE EN PLACE DES NOUVEAUX TABLIERS

Les tabliers préfabriqués de 140 t chacun ont été transférés, depuis leur zone de préfabrication située à moins d'un kilomètre, le week-end précédent et sont en attente à environ 30 m de la brèche. Le samedi 12 juillet au matin, les rails provisoires permettant le passage du lorry des voies ferroviaires au portique sont installés de nouveau par l'équipe de voie. Les lorries sont mis en route par Sarens et amènent lentement le nouveau tablier sur le portique, les lorries sont bloqués sur la poutre à l'aide de profilés boulonnés. L'équipe de voie est prête

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Charpente métallique : 275 t
- Béton léger : 380 m³
- Armatures : 80 t
- Montant de l'opération : 6,5 M€
- Durée des travaux : 9 mois
- Début des travaux : janvier 2003



Photo 13
Mise en place d'un tablier neuf
Laying a new deck

au premier signal à couper le cordon ombilical qui retient encore le portique. Le top est donné, les rails provisoires sont déposés. Les chariots Kamags sont mis en route. La main experte de l'opérateur actionne vérins et moteurs hydrauliques. Lentement, le tablier dominant la brèche s'éloigne par le système de manutention vers sa destination finale (photo 13). L'ouvrage est alors positionné au-dessus de ces appuis futurs et entame sa lente descente sur appui. Après quelques heures, l'ouvrage est enfin sur appuis provisoires. Le portique est alors reconditionné pour prendre en charge le second tablier dès le lendemain matin. Le dimanche 13 juillet, la même opération de mise en place est répétée pour le second tablier. Le jeudi 17 juillet au matin, Rabot Dutilleul termine les opérations de réglage et de scellement des tabliers ainsi que les travaux concernant les équipements tels que joints oméga, joints couteaux, caillebotis etc. Le reste de la semaine est consacré à l'armement des tabliers (ballast, traverse, rails).

Les premiers trains ont été autorisés à circuler dans la nuit du samedi 19 juillet au dimanche 20 juillet à une heure du matin, garantissant ainsi le succès de cette première opération. La satisfaction a été de courte durée car les équipes se sont tout de suite mobilisées pour démarrer les deux autres challenges, réussis dans la période du samedi 19 juillet au 2 août et du 2 août au 17 août. Très rapidement, les trains ont eu l'autorisation de circuler à 120 km/h (vitesse d'exploitation de la ligne). Le dimanche 17 août, la mission est accomplie.

Pendant un mois et demi, les personnels des entreprises, de la maîtrise d'œuvre travaux et de la maîtrise d'œuvre études se sont affairés par roulement, pour contribuer à l'entière réussite d'une opération complexe et délicate mais préparée de longue date par des équipes motivées et efficaces. La partition a été écrite, puis jouée sans aucune fausse note.

ABSTRACT

The Pantin railway bridges. Replacement of five key structures in the railway network at the exit to "Gare de l'Est" railway station

J.-Cl. Gincourt, D. Keller

The five secular steel decks at Pantin were replaced between 5 July 2003 and 17 August 2003 using an original handling system. The old structures were removed by rail on self-propelled lorries travelling on running beams. Jacking towers enabled the system to be raised or lowered. The new decks were put in place by the reverse process on springers which were completely prefabricated. This project disturbed rail and road traffic for only two months, with effective replacement of the decks in three times fifteen days (i.e. one and a half months).

RESUMEN ESPAÑOL

Los puentes ferroviarios de Pantín. La sustitución de cinco estructuras en pleno centro de la red ferroviaria en su salida de la estación del Este de París

J.-Cl. Gincourt y D. Keller

La sustitución de los cinco tableros metálicos centenarios de Pantín, se ha llevado a cabo durante el periodo del 5 de julio al 17 de agosto de 2003, mediante el empleo de un sistema original de manipulación de cargas. Las antiguas estructuras se han evacuado por vía férrea mediante vagonetas motorizadas (lorris) con circulación sobre vigas de rodadura. Mediante el empleo de torres de cilindros hidráulicos (gatos) se han efectuado las maniobras de subida o bajada del sistema. Los nuevos tableros se han instalado según el procedimiento inverso sobre estribos que han sido prefabricados en su totalidad.

Estas obras únicamente han perturbado el tráfico ferroviario y viario durante dos meses, con una sustitución efectiva de los tableros en tres veces quince días (o sea, mes y medio).

formation

Le CFA TP de Ploërmel : un nouvel exemple du développement de l'apprentissage dans les travaux publics



Un an après son ouverture dans des locaux provisoires, le nouveau CFA de Ploërmel accueillait, en septembre 2003, dans des locaux neufs, 135 apprentis répartis dans trois sections :

- ◆ entretien et construction de routes ;
- ◆ canalisations ;
- ◆ conduite d'engins.

Ce résultat avait pu être obtenu grâce à la détermination de la Fédération régionale des travaux publics de Bretagne qui a su trouver et rassembler les partenariats nécessaires et transformer en un temps record un projet ambitieux en une réalisation exemplaire.

Une rapide étude de faisabilité s'avère très vite concluante : les entreprises sont intéressées et sont prêtes à accueillir une centaine d'apprentis, la Chambre de Commerce et d'Industrie du Morbihan s'associe au projet et propose un terrain, des concours financiers peuvent être obtenus au titre du Feder, du Conseil régional, du Conseil général du Morbihan, de la communauté d'agglomération de Lorient, et du FRED (Fonds de restructuration des établissements de la défense).

Ces différents concours représentaient 80 % du budget de 2,5 millions d'euros, le solde étant apporté par la CCI du Morbihan et la profession par l'intermédiaire du CCCA-BTP.



Après une première année de mise en route et de rodage, le CFA TP de Ploërmel a été inauguré officiellement le 31 octobre 2003. Cet événement nous fournit l'occasion, en retraçant l'histoire de la création de ce centre, en décrivant son organisation et son fonctionnement, de faire le point sur le développement de l'apprentissage dans les travaux publics, et sur les résultats obtenus.

■ HISTORIQUE DU CFA TP BRETAGNE

Année 2000

L'idée de créer un CFA en Bretagne naît en mai 2000, à l'occasion de l'inauguration du CIFA TP d'Alençon, à laquelle assistent Carl Rietvelt, administrateur de la FRTP Bretagne et Gérard Pagger, secrétaire général.

QUELQUES CHIFFRES POUR 2003

- 135 apprentis dont 72 majeurs et 63 mineurs

Niveau de formation à l'entrée au CFA TP

- Sortie de collège : 47,4 %
- Niveau CAP/BEP : 44,5 %
- Niveau BAC et plus : 8,1 %

Origine géographique des apprentis

- Département 22 : 16,3 %
- Département 29 : 16,3 %
- Département 35 : 25,2 %
- Département 56 : 40,7 %
- Autres départements : 1,5 %

- 98 établissements d'accueil d'entreprises de TP

- 60 % d'entreprises ont plus de 20 salariés
- 40 % d'entreprises ont moins de 20 salariés



Année 2001

Le projet est finalisé au cours de l'année 2001, par le dépôt des statuts de l'Association du centre des formations alternées des travaux publics Bretagne, la désignation des administrateurs, et le choix d'un terrain, dans la commune de Ploërmel (à 70 km de Rennes, 90 km de Saint-Brieuc ou Lorient et 210 km de Brest).

Année 2002

L'objectif d'ouvrir le centre en octobre 2002 avec 72 apprentis a pu être réalisé, avec notamment le recrutement en janvier 2002 d'une jeune femme ayant pour mission de recruter 72 jeunes pour la rentrée, l'obtention du permis de construire, le bouclage du dossier financier avec l'obtention des fonds Feder, la mise en place de locaux provisoires pour la rentrée et l'acquisition des en-



gins, et la mobilisation des entreprises pour la taxe d'apprentissage.

Un directeur, Pascal Régnier, a été recruté au 1^{er} juin. Il a embauché une assistante et deux formateurs techniques à temps plein et cinq formateurs en enseignement général à temps partiel. La construction des locaux définitifs a débuté le 15 septembre.

Année 2003

L'année 2003 a vu l'achèvement des locaux, le 15 juillet, la mise en place des concours financiers, le recrutement de deux nouveaux formateurs et d'une comptable, et... la préparation de l'inauguration officielle, après l'accueil de 135 apprentis.

■ LES MOYENS DU CFA TP BRETAGNE

Les hommes

L'équipe actuelle du CFA, qui participe au bon fonctionnement de ce tout nouveau centre, est composée de :

- ◆ Pascal Régnier, directeur ;
- ◆ Philippe Hubert, formateur technique, responsable technique de la section CAP conduite d'engins, qui assure également la gestion du parc d'équipements professionnels des engins ;
- ◆ Martine Jaumard, formateur technique, responsable technique de la section CAP Canali-



CFA TP DE PLOËRMEL Inauguration le 31 octobre 2003

Le vendredi 31 octobre, à Ploërmel, en présence de 200 invités, le CFA TP de Bretagne, présidé par Gilles Lamare, a été inauguré en présence de :

- Jean-Pierre Condemine, secrétaire général de la Préfecture du Morbihan, représentant Bernadette Malgorn, préfète de la Région Bretagne ;
- Paul Anselin, maire de Ploërmel, président de la communauté de communes de Ploërmel, vice-président du Conseil régional, représentant Josselin de Rohan, président ;
- Aimé Kergueris, député, vice-président du Conseil général du Morbihan, représentant Jean-Charles Cavaille, président ;
- Daniel Tardy, président de la FNTP ;
- Jean-François Le Tallec, président de la CCI du Morbihan ;
- Jean-Pierre Barthélémy, président de la FRTP Bretagne.



Dans leurs discours, Messieurs Gilles Lamare, président du CFA TP, Daniel Tardy, président de la FNTP, et Jean-Pierre Barthélémy, après avoir rappelé, l'un et l'autre, ou l'histoire de la création du centre, ou la participation à cette création et au financement, des différents partenaires, ont tenu à souligner l'importance de la formation en alternance, pour les jeunes, et pour les entreprises. Voici quelques extraits de leurs déclarations.

De Gilles Lamare :



"On entend souvent dire que certains métiers, dont les nôtres, n'attirent plus les jeunes. Nous commençons, à notre modeste niveau, à prouver le contraire. Les deux rentrées de 2002 et 2003 se sont très bien déroulées, et nous avons, cette année encore, une liste d'attente. Beaucoup de jeunes ont compris qu'ils pouvaient trouver chez nous :

- ◆ un travail concret, dans lequel on voit le résultat de ses efforts ;
- ◆ un travail en équipe et à l'extérieur ;
- ◆ des salaires motivants et des perspectives d'évolution, liées aux capacités de chacun."

De Daniel Tardy :



"Cette voie de formation (l'apprentissage) présente trois avantages :

- ◆ elle est le moyen pour les entreprises de transmettre aux nouvelles générations leur savoir-faire professionnel et de se constituer ainsi un vivier de recrutement ;
- ◆ elle permet au jeune de préparer un diplôme tout en étant rémunéré, et d'acquérir une première expérience professionnelle ;
- ◆ enfin, parce qu'il repose sur un contrat de travail, l'apprentissage permet une autorégulation des flux de jeunes en formation dans les diverses spécialités des travaux publics. L'apprentissage et les contrats d'insertion en alternance sont devenus, en quelques années, un moyen essentiel de préparation des jeunes à nos métiers puisqu'ils accueillent désormais 40 % de nos effectifs en formation dans les diverses spécialités des travaux publics."

De Jean-Pierre Barthélémy :



"Plus qu'un centre de formation, nous inaugurons aujourd'hui un centre d'intégration à l'industrie des travaux publics.

En prenant un jeune apprenti, nos entreprises ne recherchent pas une main d'œuvre à faible coût, elles font un investissement pour l'avenir."

► sations, qui prend en charge les aménagements intérieurs et extérieurs du CFA ;

◆ Régis Stevant, formateur technique, qui est aussi responsable des activités des apprentis sur la plate-forme et responsable de la prévention des risques ;

◆ Brigitte Guillemain, secrétaire et Karine Derrien, secrétaire-comptable, travaillent également au CFA TP.

Sept formateurs à temps partiel viennent renforcer l'équipe pédagogique.

Les moyens matériels

Ils comprennent :

◆ un terrain de 24 ha, situé à proximité de la voie express Lorient-Rennes (N 24) ;

◆ un bâtiment de 641 m², pour l'enseignement et les services administratifs ;

◆ un atelier de 1 000 m², pour le stockage des engins et du matériel et la réalisation des travaux pratiques (500 m²) et pour l'atelier proprement dit avec une fosse d'intervention pour la maintenance courante sur les engins TP (500 m²). L'hébergement et la restauration des élèves sont assurés par le lycée agricole La Touche, géré par les Frères de Ploërmel, avec transports en car pour le CFA.

Il est prévu que les abords seront aménagés par les élèves eux-mêmes dans le cadre du projet pédagogique du CFA TP.



Organisation pédagogique du CFA TP Bretagne (dans le cadre du contrat de travail en apprentissage jeunes de 16 à 25 ans)

Le CFA TP Bretagne comporte trois sections préparant au CAP de :

- ◆ constructeur de routes ;
- ◆ constructeur en canalisations des TP ;
- ◆ conducteur d'engins de TP.

Avec formation de sensibilisation à la sécurité,

de gestes et postures, financée par les entreprises.

Le cycle de formation comporte :

◆ 14 semaines par an de formation au CFA TP Bretagne :

- enseignement professionnel : 65 % ;
- enseignement général : 35 % ;

◆ 38 semaines par an de formation en entreprise (premier lieu de formation) ;

◆ trois visites par an et par apprenti en entreprise réalisées par le centre sur les lieux de chantier. Chaque apprenti a un livret de suivi au CFA TP et en entreprise.

Le conseil d'administration du CFA TP Bretagne est appuyé par :

◆ une commission pédagogique constituée par les entreprises de TP de Bretagne (deux réunions depuis septembre 2002) ;

◆ trois conseils de perfectionnement paritaires par an.

Le CFA TP Bretagne organise en outre :

◆ la formation de maîtres d'apprentissage de novembre à mars (trois demi-journées) ;

◆ quatre journées de portes ouvertes et de bilan d'entrée des futurs apprentis du CFA TP en présence des professionnels de la branche.

Enfin, il participe aux forums et salons des métiers pour la promotion de l'apprentissage.

Comme l'a dit le président Jean-Pierre Barthélémy lors de l'inauguration du 31 octobre, *"les jeunes apprentis sont donc assurés, pourvu qu'ils acquièrent, au CFA et dans l'entreprise, les savoir-faire et savoir-être que l'on attend d'eux, d'un contrat à durée indéterminée, à l'issue de leur formation, et presque toujours dans leur entreprise d'accueil"*.

Salaire d'embauche garanti d'un salarié ayant obtenu un CAP des travaux publics : minimum (1) annuel de 15 300 € (base 35 heures de travail par semaine) + 8,5 € d'indemnité journalière de repas + une indemnité journalière de transport et de trajet (si le salarié se rend par ses propres moyens sur le chantier).

Les apprentis du CFA TP Bretagne expriment volontiers leur intérêt pour un secteur qu'ils découvrent et dans lequel ils veulent s'investir et construire ainsi leur avenir professionnel.

Motivés par la diversité des activités, ils apprécient tout particulièrement de travailler à l'extérieur et insistent sur l'esprit d'équipe qu'ils



rencontrent sur les chantiers. Fiers de préparer un diplôme, les apprentis disent travailler au sein de leur entreprise d'accueil en bonne entente avec leurs collègues plus âgés qui n'ont pas de diplôme et qui ont progressé "sur le terrain". La voie de l'apprentissage présente aux yeux de ces jeunes de nombreux avantages : ils sont rémunérés et accèdent progressivement au monde du travail.

Ils reconnaissent aussi avoir la chance de pouvoir travailler dans un CFA neuf, bien équipé, dans un environnement agréable.

Rendez-vous en juin prochain pour la sortie des premières promotions d'apprentis du CFA TP Bretagne et la remise des premiers diplômes à ces jeunes ayant choisi les travaux publics !

(1) Salaire brut auquel il convient de déduire les charges sociales (environ 20 %)

L'apprentissage dans les travaux publics

La FNTP a diffusé, le 5 novembre 2003, une étude consacrée aux actions de la profession pour favoriser l'accès des jeunes aux métiers des travaux publics.

Pour la troisième année consécutive, les effectifs des élèves des établissements de formation aux métiers des TP sont en hausse (+ 6 % par rapport à l'année 2001/2002, qui avait enregistré 7 513 élèves ou apprentis dans les différentes sections), et dans cette augmentation, **l'apprentissage a le vent en poupe**, en enregistrant cette année une **croissance de 25 % par rapport à 2002**.

En 6 ans (1997-2003), les effectifs d'apprentis ont été multipliés par 2,5 (2 457 jeunes) et les effectifs de jeunes en contrat d'insertion en alternance ont progressé de 40 % (1 719 jeunes). L'apprentissage prend donc désormais une place importante dans le dispositif de formation initiale.

Ce développement est surtout dû aux initiatives qui ont été prises par les Fédérations régionales de travaux publics qui ont créé des CFA en régions, et à l'action des entreprises qui offrent des contrats d'apprentissage.

Ces CFA sont de plusieurs types :

1. Les CFA créés en partenariat avec des établissements d'enseignement, notamment des lycées professionnels qu'on dénomme parfois des "CFA sans murs". Ce type de CFA existe en Paca, en Bourgogne, en Franche-Comté et en Rhône-Alpes.

Dans ce cas, le CFA passe convention avec des établissements d'enseignement qui assurent la formation. Il peut aussi gérer lui-même en direct certaines sections.

2. Les CFA-TP gérés en partenariat avec des CCI. Il peut s'agir de CFA gérés par une CCI, (ex. : Tecomah dans les Yvelines) ou d'associations dont le Conseil d'administration est composé à parité de représentants de la FRTP et de la CCI (ex. : le CIFATP d'Alençon et le CFA TP de Bretagne).

3. Les CFA gérés dans le cadre juridique traditionnel. Il s'agit du CFA de Montigny-lès-Metz et du CFA d'Orcemont qui est surtout un CFA du Bâtiment.

Cette note est l'occasion pour la FNTP de rappeler la campagne de communication sur les métiers des TP, qui comporte :

... des actions de sensibilisation

S'appuyant sur un audit d'images, réalisé par la Sofres, qui comportait notamment une enquête

qualitative auprès de groupes de jeunes ciblés, la profession a mené de nombreuses actions :

- ◆ diffusion d'un spot télévisé aux heures de grande écoute durant trois années consécutives, de l'hiver 2000 au printemps 2003 ;
- ◆ réunions régionales et visites de chantiers de travaux publics destinées aux enseignants, aux principaux de collèges, aux professeurs principaux de classe de troisième et aux conseillers d'orientation ;
- ◆ visites de chantiers pour les élèves de collèges ;
- ◆ participation des fédérations régionales à des forums ou à des salons sur les métiers.

... des supports de communication

Parallèlement à la campagne de sensibilisation, la profession des travaux publics a développé des outils modernes et pratiques pour répondre aux besoins d'informations des jeunes et de leurs parents :

- ◆ création d'un site Internet www.metier-tp.com : toute l'information sur le secteur, les métiers et les formations travaux publics avec notamment une base de données des établissements de formation, des offres d'emplois et de stages, un test... ;
- ◆ des clips présentant les principaux métiers des travaux publics. Ces supports ont été réali-

sés en partenariat avec l'Onisep ;

- ◆ des plaquettes de présentation des métiers TP et des filières de formation ("Plaquettes jeunes" et annuaire des formations de l'enseignement supérieur préparant aux métiers des travaux publics) ;
- ◆ un tiré à part du "Guide de professeurs" de la revue *L'Étudiant* diffusé en 170 000 exemplaires. La même note annonce enfin la nouvelle campagne de communication 2003-2004, avec :
- ◆ depuis septembre 2003 un nouveau logo : une marque "Travaux publics" qui met en avant l'utilité des travaux publics et veut affirmer l'image des travaux publics auprès des jeunes et du grand public ;
- ◆ et, prochainement (en janvier 2004) un film dont le scénario fera ressortir combien les travaux publics sont indispensables et utiles au quotidien de chacun.

Rappeler aux jeunes l'utilité des travaux publics, c'est leur donner l'assurance d'exercer un métier utile et passionnant :

- ◆ aménager des villes et villages (voirie, adaptation de la rue aux transports en commun et aux vélos, amélioration de la sécurité routière) ;
- ◆ améliorer l'environnement par la pose de réseaux d'eau potable et d'eaux usées ;
- ◆ contribuer avec fierté à relier les hommes en construisant des ouvrages prestigieux (viaduc de Millau, LGV Est...).



économie

Équipement

Infos chantiers : 2^e trimestre 2003

■ MISES EN SERVICE

Terminal 2E de l'aéroport Roissy Charles De Gaulle

En juin dernier, au terme de plus de trois années d'un immense chantier, Aéroports de Paris ouvre les portes du terminal 2E qui parachève ainsi l'œuvre progressive sur vingt ans de l'aérogare 2. Doté de caractéristiques architecturales remarquables, le nouveau terminal offrira à terme une capacité annuelle de 10 millions de passagers et sera destiné à l'accueil du trafic international tandis que le terminal F se spécialisera dans le traitement du trafic européen.

- Investissement : 750 M€
- 2500 emplois directs générés

RCEA : Dompierre - Digoïn

Vingt-quatre kilomètres d'un nouveau tronçon de la Route Centre Europe Atlantique (RCEA) sont ouverts depuis leur inauguration le 19 mai 2003. Ce tronçon relie Dompierre dans l'Allier à Digoïn en Saône-et-Loire. Il comprend notamment 6,5 km à 2 x 2 voies (soit trois créneaux de dépassement et le raccordement à la déviation de Digoïn). La nécessité de la réalisation de cette route semble être acquise puisque fin 2002, les crédits engagés représentaient 39 % du montant inscrit au CPER Etat - Auvergne contre 25 % pour les autres programmes routiers en Auvergne.

- Investissement : 117 M€
- RCEA : 68 % des 600 km aujourd'hui aménagés

A20 : Cahors Nord - Cahors Sud

Le 25 juin dernier, le dernier tronçon autoroutier qui manquait à l'A20 entre Paris et Toulouse a été inauguré : il s'agit d'une portion de 23 km entre les échangeurs de Cahors Nord et Cahors Sud. Cette réalisation boucle l'axe européen nord-sud qui relie Amsterdam à Barcelone via Paris et Perpignan. L'A20 sera d'autant plus attractive qu'une longue portion de 300 km entre Vierzon et Brive, déjà aménagée par l'Etat dans les années 1990, est gratuite.

- Investissement : 215 M€
- DUP : 1994, prorogée en 1999
- Début des travaux : octobre 2000

Eoliennes en Vendée

EDF a inauguré, le 1^{er} juillet dernier, à Bouin (Vendée) un parc éolien constitué des huit aérogénérateurs les plus puissants installés en France à ce jour, capables de développer ensemble 45 millions de kWh par an. L'énergie produite correspond à la consommation électrique hors chauffage de 22000 foyers. Notons que le Conseil général de Vendée se montre réservé sur la perspective d'implanter de nouvelles éoliennes dans le département, principalement pour des raisons de protection du paysage.

- Investissement : 23 M€
- Travaux réalisés de septembre 2002 à février 2003

A87 : Cholet Sud - Les Essarts

Un an après l'ouverture du tronçon Angers/Cholet, l'autoroute A87 poursuit son chemin en Vendée. Le tronçon entre Cholet Sud et Les Essarts (commune située à 20 km de la Roche-sur-Yon) a été inauguré fin juin 2003. Cet axe de 36 km permet ainsi de rejoindre l'A83, la "Route des Estuaires" reliant Nantes, Niort et Bordeaux.

- Investissement : 273 M€
- Mise en service totale (jusqu'à la Roche-sur-Yon) : 2005

■ LANCEMENTS

A75 : La Méridienne

Le chantier de l'A75 entre Clermont-Ferrand et Béziers semble être dans les temps. D'ici janvier 2005, date de mise en service du viaduc de Millau, il ne reste plus "que" 35 kilomètres à terminer.

A ce titre, les travaux du tronçon Pégairolles-de-l'Escalette/Lodève Sud viennent de démarrer. Le timing est serré. Le point fort du chantier consis-

te en la réalisation d'un mur terre armée de 30 m de hauteur et de 9500 m² de superficie afin d'éliminer un virage avant le viaduc de Fozzières.

- Investissement : 44 M€ HT
- Longueur du tronçon : 12 km
- Mise en service : début 2005

Station d'épuration à Amiens

Le chantier de la future station d'épuration d'Amiens Métropole est lancé. D'ici deux ans, la nouvelle installation disparaîtra dans un bâtiment confiné pour éviter les odeurs, adossé à la colline et recouvert de verdure. Avec une capacité de 240000 équivalents-habitants, elle s'implante sur plus de 20 ha à l'ouest de la ville.

- Investissement : 48 M€ HT

Lorraine : un délestage par l'ouest du fret

La réflexion stratégique menée lors de la préparation du contrat de plan Etat-région 2000-2006 pour assurer le délestage du sillon mosellan, en butte à une croissance du fret ferroviaire, entre dans une phase concrète.

Travaux de mise au gabarit européen grands conteneurs des tunnels de La Roche, Montigny, Pagny et Foug et de rétablissement de la section Mont-Saint-Martin - Athus au réseau belge.

- Investissement : 27 M€
- Mise en service de Longwy-Toul : mi-2004
- Travaux sur l'axe Metz-Nancy afin d'abaisser le cadencement du Métrolor.
- Investissement : 77 M€
- Mise en service : 2005

A cela, la Région ajoute une enveloppe de 63 M€ pour du matériel roulant.

RN 106 : liaison Alès - Nîmes

La route à 2 x 2 voies entre Boucoiran et La Calmette, tronçon de la liaison Alès - Nîmes, a été pensée de telle sorte à résister aux crues : des tests ont montré qu'en cas d'événements comparables à ceux des 8 et 9 septembre 2002, l'ouvrage serait resté hors d'eau. Evidemment, cette bonne tenue face au risque d'inondation a un

coût : 1,5 million de mètres cubes de terrassement et une vingtaine d'ouvrages d'art seront nécessaires sur les 10 km. Cependant, la DDE est confiante : si les crédits sont attribués à temps, l'ensemble de la route devrait être livrée fin 2006 ou début 2007.

- Investissement : 76,2 M€
- Financement : 35 % Etat, 35 % Région, 20 % Europe, 10 % Département

Tramway de Nice

Le 16 juin 2003, la ville et la communauté d'agglomération Nice-Côte d'Azur ont lancé le coup d'envoi du chantier de la première ligne de tramway de Nice, ce après 8 années d'étude et de préparation. Long de 8,6 km, cet axe reliera le quartier Comte de Falicon - Gorbella, au nord, et Pont-Michel, au nord-est, en direction de la Trinité, via le centre historique. D'ici 2010, une deuxième ligne de tramway, longue de 10 km, devrait voir le jour.

- DUP : 28 mars 2003
- Investissement : 333 M€ HT pour les deux lignes
- Mise en service : décembre 2006

A28 : Rouen - Alençon

Un an et demi après la signature du contrat de concession, les travaux ont été lancés sur l'autoroute A28 Nord.

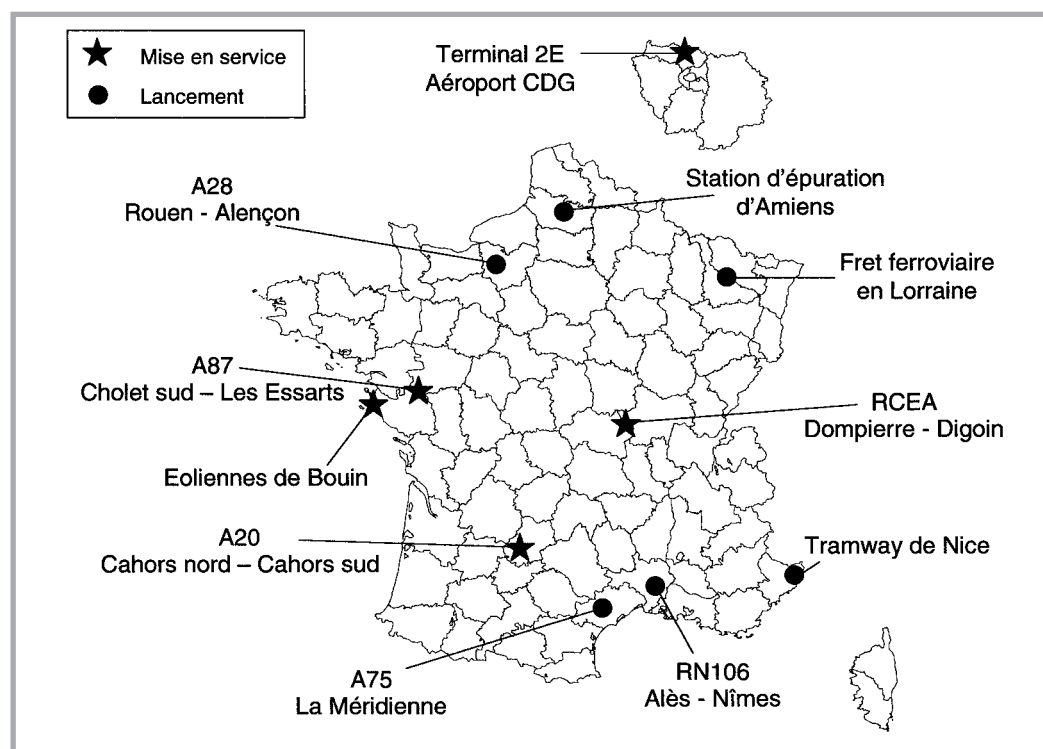
Les travaux de cet itinéraire de 125 kilomètres qui doit relier Alençon à Rouen représentent une véritable course contre la montre puisque le concessionnaire s'est engagé à mettre en service la totalité de l'infrastructure en décembre 2005. A plein régime, le chantier accueillera 2500 ouvriers et 400 engins. L'autoroute A28 Nord est la première de France à avoir été dévolue en financement de projet : le constructeur est également opérateur autoroutier.

- Investissement : 917 M€, subventionné à hauteur de 33 % par les fonds publics
- DUP : 1994, prorogée le 3 décembre 1999
- Mise en service : décembre 2005

■ OÙ EN SONT-ILS ?

RN 202 bis

La réalisation de la RN202 bis, voie parallèle à la route actuelle, sur 15 km entre Nice - Saint-Isidore et Saint-Martin-du-Var, va coûter beaucoup plus cher que prévu. En 1998, une première estimation pour une 2 x 2 voies prévoit 239 M€. Cinq ans plus tard et pour simplement une 2 x 1 voie, le montant s'établit à 310 M€. Les causes : actualisation des coûts des travaux publics, contraintes hydrauliques (crues), allongement du



pont Nord de franchissement du Var... Mais l'addition risque encore de s'alourdir puisqu'on parle déjà d'une mise à 2 x 2 voies au cours du XIII^e plan.

- Début des travaux : fin 2001
- Fin des travaux : 2006

Tramway de Bordeaux

Les 22 kilomètres de la première tranche du tramway de Bordeaux ne seront pas livrés à la fin de l'année comme le prévoyait la communauté urbaine. Une seule ligne sur trois pourrait ouvrir à la date envisagée, les deux autres devant attendre un à deux mois. Ce retard tient pour l'essentiel au dépôt de bilan de l'entreprise adjudicatrice des travaux de génie civil dans l'hyper-centre. Le manque de coordination entre les travaux du tramway et l'aménagement des quais a également pesé sur le calendrier.

- Début des travaux : février 2000
- Investissement : 630 M€

■ CE SERA DEMAIN...

LGV Perpignan - Figueras

Les gouvernements espagnols et français ont lancé un nouvel appel d'offres pour la construction de la ligne TGV entre Figueras et Perpignan, après la rupture des négociations annoncée le 16 avril entre la commission hispano-française chargée du dossier de ce tronçon de 45,4 km (27,6 km pour la section française) et le consor-

tium Euroferro, composé de Bouygues et de Dragados, retenu dans un premier temps. Quatre consortiums ont cette fois présenté leur candidature : la commission intergouvernementale chargée du dossier examinera les offres des quatre consortiums pour attribuer les marchés avant la fin 2003. La mise en service initialement prévue en 2005 est compromise.

- Investissement : 714 M€
- Longueur de la ligne : 45,4 km

Aéroport de Brest

Alors que l'actuelle aérogare de Brest-Bretagne s'approche de son niveau de saturation, la CCI annonce la construction d'un nouvel ensemble qui permettra une capacité de gestion simultanée de 1500 personnes pour à peine la moitié aujourd'hui. Aux dires des responsables du projet, il n'y a pas de concurrence à voir avec le futur aéroport de Notre-Dame-des-Landes puisque 300 km séparent les deux installations.

- Investissement : 38 M€
- Début des travaux : septembre 2004
- Fin des travaux : fin 2006
- Financement : CCI (20 %)
 - Bretagne (27,5 %)
 - Etat + Europe (25 %)
 - Finistère (15 %)
 - Comm. urbaine de Brest (12,5 %)

Déviation de Beauvais

Début mai 2003, la DDE de l'Oise a lancé les appels d'offre pour le contournement ouest de Beau-

► vais (rétablissement des liaisons, trois ouvrages d'art, viaduc de Frocourt). C'est le principal investissement du CPER picard à l'heure des renégociations.

- Investissement : 76 M€
- Début des travaux : fin 2003
- Mise en service : fin 2007

Grands et Petits Goulets

Le Conseil général de la Drôme a lancé le marché de maîtrise d'œuvre pour les tunnels des Grands et des Petits Goulets et la construction d'un ouvrage d'art au-dessus de la Vernaison, un projet dont les premières études remontent à 1988 par le CETU... L'opération comporte également la déviation et la valorisation touristique du hameau des Baraques.

- Investissement : 65 M€ (dont 40 M€ pour le tunnel principal de 1,7 km)
- Début des travaux : 2^e ou 3^e trimestre 2004
- Fin des travaux : 2009

A11 : Contournement nord d'Angers

Cofiroute a annoncé un nouveau calendrier de réalisation du contournement nord d'Angers :

- Les ouvrages d'art à partir d'octobre 2003
- Les terrassements à partir de décembre 2003
- La tranchée couverte de mars 2004 à juillet 2006
- Fin des travaux : août 2007

■ OU APRÈS DEMAIN

DUP concernant :

- Les travaux de construction du contournement autoroutier nord d'Angers par l'autoroute A11 et des travaux d'élargissement à 2 x 3 voies de la section de l'autoroute A11 dite rocade nord, le 22 avril 2003 (prorogation des effets de la déclaration par décret du 30 avril 1998).
- Les travaux de construction de la section Balbigny/La-Tour-de-Salvigny de l'autoroute A89 et de l'antenne autoroutière de l'Arbresle, le 17 avril 2003.
- Les travaux d'aménagement des RN533 et 86, complémentaires au raccordement du deuxième pont sur le Rhône, sur le territoire des communes de Guilhaud-Granges et Soyons, le 12 mai 2003.

Lancement d'enquête publique :

Les travaux de prolongement de la ligne 12 du métro parisien, au-delà de la Porte de la Chapelle, jusqu'à la mairie d'Aubervilliers, du 10 juin au 11 juillet 2003.

■ DES PROJETS PLUS LOINTAINS

TGV Côte d'Azur

Les premières études réalisées par RFF concernant le projet de liaison à grande vitesse entre Marseille et Nice tablent sur un taux de rentabilité de l'ordre de 11 % (5 à 6 millions de voyageurs supplémentaires). Deux hypothèses de tracé sont retenues : la construction d'une ligne de moyen pays avec deux branches pour desservir Toulon et l'aire niçoise et une ligne longeant le littoral entre Marseille, Toulon et la Côte d'Azur.

- Investissement : 3,5 Md€
- Mise en service : pas avant 2020

Contournement autoroutier de Strasbourg

En juin dernier, les habitants d'une cinquantaine de communes de l'ouest strasbourgeois étaient conviés à une concertation publique pour définir plus précisément le tracé et les contraintes d'un nouveau tronçon autoroutier de 28 km avec quatre échangeurs. Classé parmi les projets prioritaires dans l'audit des infrastructures, le tracé présente peu de difficultés techniques. Il traverse cependant des territoires agricoles et résidentiels riches, avec des paysages sensibles.

- Investissement : 277 M€
- Enquête publique : 2004
- Attribution de la concession : 2006
- Mise en service : 2011

Contournement de Clermont-Ferrand

En juin dernier, le préfet du Puy-de-Dôme a présenté, devant les acteurs économiques et politiques locaux, les grandes lignes du projet de contournement de Clermont-Ferrand. Pour son tracé, la DDE a établi trois variantes d'une longueur de 20 à 34 km. Cette voie autoroutière sera construite et gérée en concession mais le prochain contrat de plan Etat-Région pourrait prévoir une subvention en cas de déséquilibre financier. La DDE envisage le lancement d'un appel d'offres pour le choix du concessionnaire en 2006, le début des travaux en 2007-2008 et une mise en service en 2010.

■ FEU VERT

TGV Nîmes - Montpellier

La voie est désormais ouverte pour organiser l'enquête publique sur le contournement ferroviaire

de Nîmes et de Montpellier à l'automne 2003. La procédure d'instruction mixte à l'échelon central (IMEC) a été bouclée fin mai. De son côté, la Commission nationale du débat public (CNDP), saisie par le maître d'ouvrage, a décidé qu'il n'y avait pas lieu d'organiser de débat public, "l'opportunité du projet étant établie".

- Investissement : 1 Md€
- Début des travaux : 2005
- Mise en service : 2008

(Source FNTF - Septembre 2003)