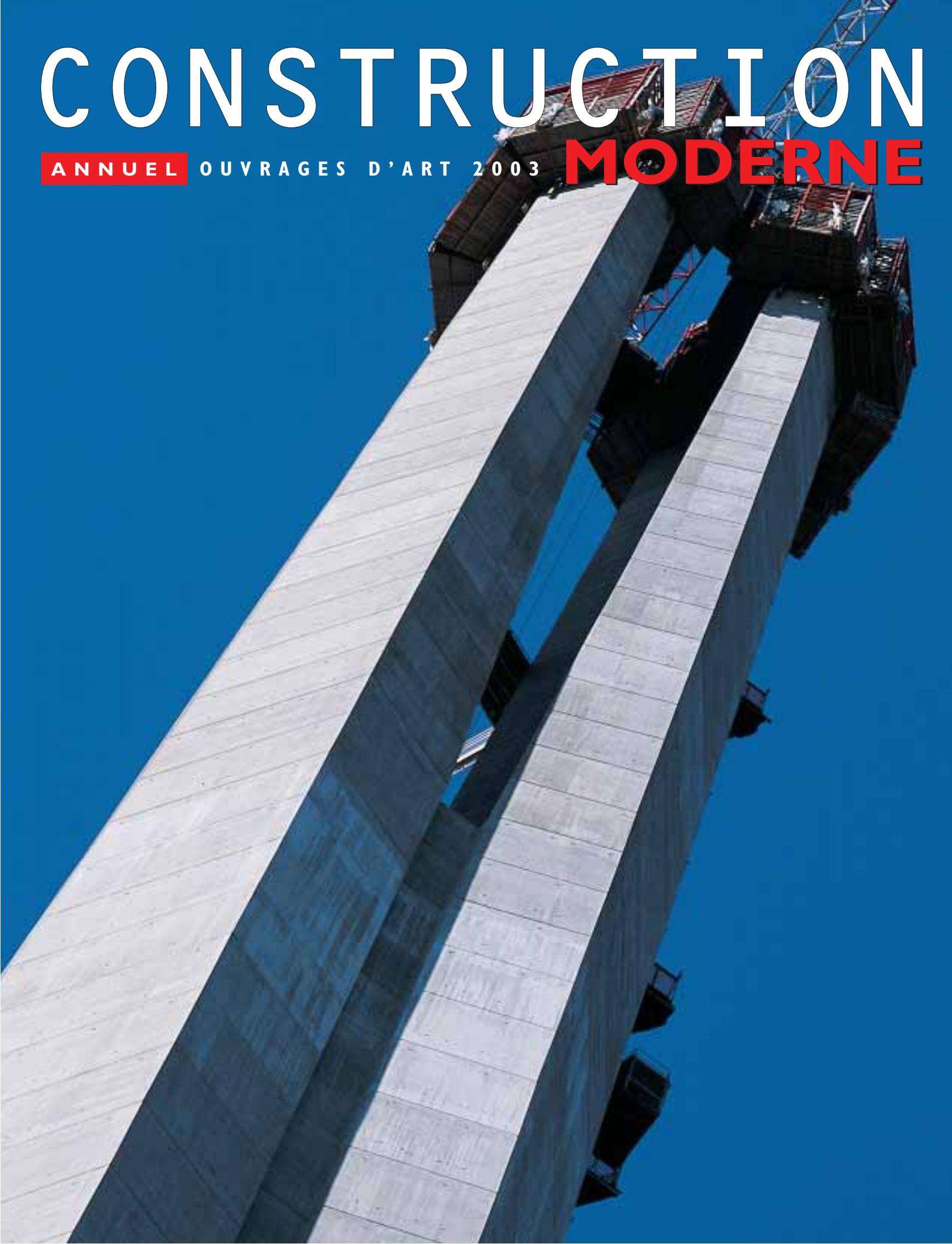


CONSTRUCTION

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2003

MODERNE



réalisations		PAGES
	TULLE – Viaduc	01 05
	La sobriété comme hommage à la nature	
	MILLAU – Viaduc	06 11
	Les sept piles de l'exploit	
>>> En couverture: viaduc de Millau	MEAUX – Viaduc	PAGES 12 16
	Le béton et l'acier au service de l'innovation	
solutions béton		PAGES
	ÉCRANS ACOUSTIQUES	17 24
	Au calme des écrans acoustiques en béton	
réalisations		PAGES
	ANGOULÊME – Viaduc	25 29
	Pour la beauté du geste architectural	
	STRASBOURG – Pont	PAGES 30 33
	Un nouveau pont pour construire l'Europe	
	MIRIBEL-JONAGE – Viaducs	PAGES 34 36
	L'art délicat de la copie conforme	
témoignages		PAGES
	Architectes et ouvrages d'art	37 39
	Des architectes auprès des ouvrages courants	
bloc-notes		PAGE
	• Livres • Symposium	40

éditorial

Comme la langue d'Ésope, le béton peut être la meilleure et la pire des choses. La pire quand il est utilisé pour construire des ouvrages et des bâtiments médiocres, sans imagination, mal intégrés ou délirants. La meilleure quand il permet de construire de beaux ouvrages, des chefs-d'œuvre de l'architecture moderne. Michel Tournier n'a-t-il pas écrit, dans un court article du *Figaro* sur le pont de Normandie, que les grands ponts étaient les cathédrales des temps modernes? Ce n'est donc pas le béton qu'il faut mettre en cause quand on voit un ouvrage banal ou médiocre, mais ses concepteurs. C'est en premier lieu à l'ingénieur d'imaginer, de concevoir son ouvrage pour qu'il soit beau, élégant, bien intégré dans son environnement, attractif pour les usagers et le public; pour faire – bien souvent avec l'aide de l'architecte – de sa structure en béton un véritable ouvrage d'art.

MICHEL VIRLOGEUX,
Ingénieur-consultant

CONSTRUCTION MODERNE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Anne Bernard-Gély
DIRECTEUR DE LA RÉDACTION : Roland Dallemagne
CONSEILLERS TECHNIQUES : Philippe Gégout;
Patrick Guiraud; Serge Horvath

CIM Béton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10

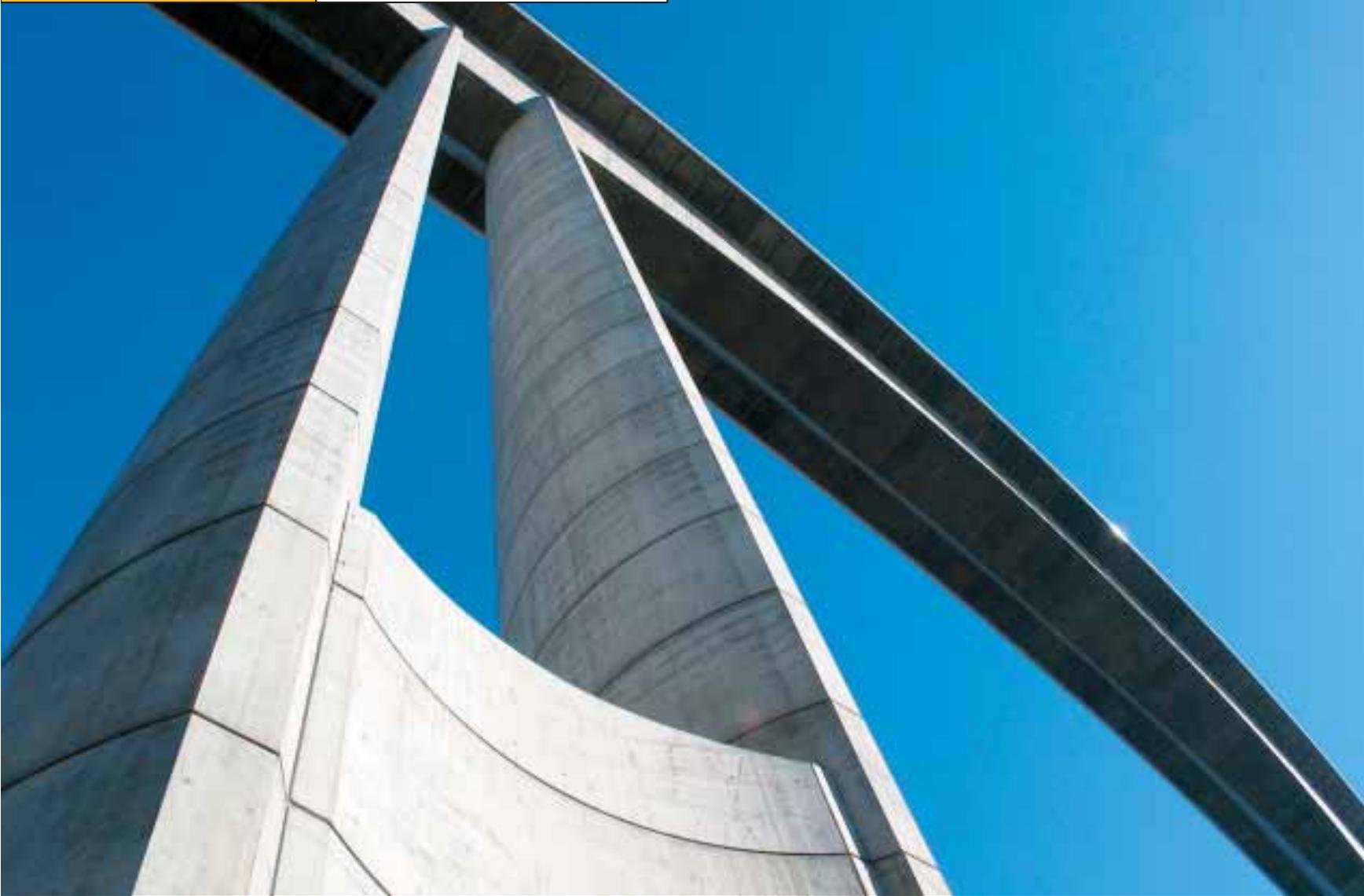
• E-mail : centrinfo@cimbeton.net
• internet : www.infociments.fr

La revue *Construction moderne* est consultable
sur www.infociments.fr

CONCEPTION, RÉDACTION ET RÉALISATION :
L'AGENCE PARUTION
41, rue Greneta – 75002 Paris

RÉDACTEUR EN CHEF : Norbert Laurent
RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE : Maryse Mondain
SECRÉTAIRE DE RÉDACTION : Philippe François
MAQUETTISTE : Sylvie Conchon

Pour les abonnements, fax : 01 55 23 01 10,
E-mail : centrinfo@cimbeton.net
Pour tout renseignement concernant la rédaction,
tél. : 01 53 00 74 13



La sobriété comme hommage à la nature

●●● HORS NORME PAR SES DIMENSIONS COMME PAR SES PORTÉES, LE DERNIER GRAND FRANCHISSEMENT DE L'AUTOROUTE A89 SE DISTINGUE POURTANT PAR SON HUMILITÉ ET SA SOBRIÉTÉ. ADOPTÉ PAR LES HABITANTS DE LA RÉGION QUI APPRÉCIENT SON INTÉGRATION AU SITE, CET OUVRAGE REMARQUABLE OFFRE AUX AUTOMOBILISTES UN PANORAMA À COUPER LE SOUFFLE. SURPLOMBANT LA VALLÉE DE LA CORRÈZE, LE VIADUC EN BÉTON S'Y DÉPLOIE DANS UN GRAND MOUVEMENT COURBE, AMPLE ET DYNAMIQUE, À PLUS DE 150 MÈTRES AU-DESSUS DU SOL, EN ÉPOUSANT LA VALLÉE D'UN GESTE ARCHITECTURAL QUI JAMAIS NE DÉRANGE.



Majestueux mais discret, exceptionnel et pourtant simple dans sa conception, le viaduc du Pays-de-Tulle cultive les paradoxes. Bien moins ostentatoire que le viaduc de Chavanon⁽¹⁾ et son étonnante suspension centrale, cet ouvrage vient ponctuer le parcours de l'A89 d'une manière bien singulière, grâce à une savante combinaison de sobriété et d'élégance. Il apporte à la vallée de la Corrèze, qu'il franchit du haut de ses 150 m, et à la ville de Tulle distante de quelques kilomètres, une signature, une identité qui sans doute manquait aux lieux. Adopté rapidement par la population locale, ce nouvel emblème doit son succès à l'attention

(1) Cf. Construction moderne, numéro spécial "ouvrages d'art", 2000.

toute particulière portée à son intégration au site naturel : l'enjeu était de souligner la rare beauté du site sans l'écraser. Un pari tenu grâce à la subtilité de l'approche des concepteurs et des architectes Lavigne, Montois et Chéron. "Le viaduc du Pays-de-Tulle est une déclinaison naturelle de l'adaptation d'une technique de construction à un site", résume Jean-Jacques Lacaze, directeur d'opération des Autoroutes du sud de la France (ASF) pour la construction de l'A89 en Corrèze et Puy-de-Dôme.

● Procédure spécifique

Ce résultat est le fruit d'une démarche menée par ASF pour laisser s'exprimer toutes les compétences dans le domaine des grands ouvrages d'art : concours de

>>> **1** Nouvel emblème pour Tulle et sa région, le viaduc du Pays-de-Tulle franchit la vallée de la Corrèze à plus de 150 m de hauteur. **2** L'ouvrage met en valeur un paysage d'une grande beauté. **3** La courbure du tracé offre aux usagers une vue unique sur l'ouvrage qu'ils sont en train d'emprunter.

concepteurs (bureaux d'études techniques et architectes) et marché de définition pour désigner un maître d'œuvre. Cette procédure est choisie par ASF pour tous les ouvrages exceptionnels qu'elle édifie. Et d'autant plus, ici, que la vallée traversée est classée zone naturelle d'intérêt écologique faune-flore (ZNIEFF). Avec une particularité : le tracé n'avait pas été fixé dans le cahier des charges du concours ouvert aux concepteurs, ce qui offrait plus de latitude pour insérer le projet dans le paysage. Enfin, ASF avait indiqué sa préférence pour un ouvrage

courbe permettant aux usagers – une fois n'est pas coutume – d'avoir une véritable perception du viaduc. La courbure de l'ouvrage (1 350 m), en l'occurrence, favorise la découverte de la vallée, mais aussi de la structure du viaduc, par l'automobiliste lancé sur l'autoroute. Choisi au terme de nombreuses sélections, le projet du groupement Jean Muller International et du cabinet d'architectes Lavigne, Montois et Chéron a séduit pour sa transparence, sa finesse, mais aussi pour sa longueur optimisée, 854 m seulement, soit



>>> Fin et majestueux, ce trait d'union entre deux plateaux distants de plus de 850 m préserve l'unité de la vallée.



200 m de moins que ce qui avait été prévu dans l'avant-projet sommaire. Et ce, tout en restant dans une enveloppe raisonnable (34 M€ HT).

Pour préserver l'unité du fond de la vallée, Charles Lavigne a choisi de limiter le nombre d'appuis en optant pour de grandes portées, ce qui imposait le choix du béton. La solution d'un ouvrage haubané était du reste difficilement compatible avec la courbure du tablier et avec

les exigences d'intégration au panorama. *"Pour des questions de proportions et d'équilibre, l'écartement entre les piles devait être légèrement supérieur à la hauteur de l'ouvrage, explique l'architecte. Nous avons donc opté pour un ouvrage à six travées, dont trois travées principales de 180 m. Cette configuration permet d'encadrer la partie centrale de la brèche et les deux versants sans leur porter atteinte."*

CHIFFRES CLÉS

- **Hauteur de l'ouvrage : 150 m au-dessus de la Corrèze.**
- **Longueur totale : 854 m.**
- **Travée principale : 180 m.**
- **Largeur du tablier : 19,30 m.**
- **Épaisseur du tablier : variable de 4 à 10 m.**
- **Hauteur des piles centrales : 113 m et 127 m.**
- **Béton : 43 000 m³, dont 31 000 m³ de BHP.**
- **Armatures de précontrainte : 1 000 t.**
- **Armatures passives : 6 000 t.**

● Une silhouette très significative

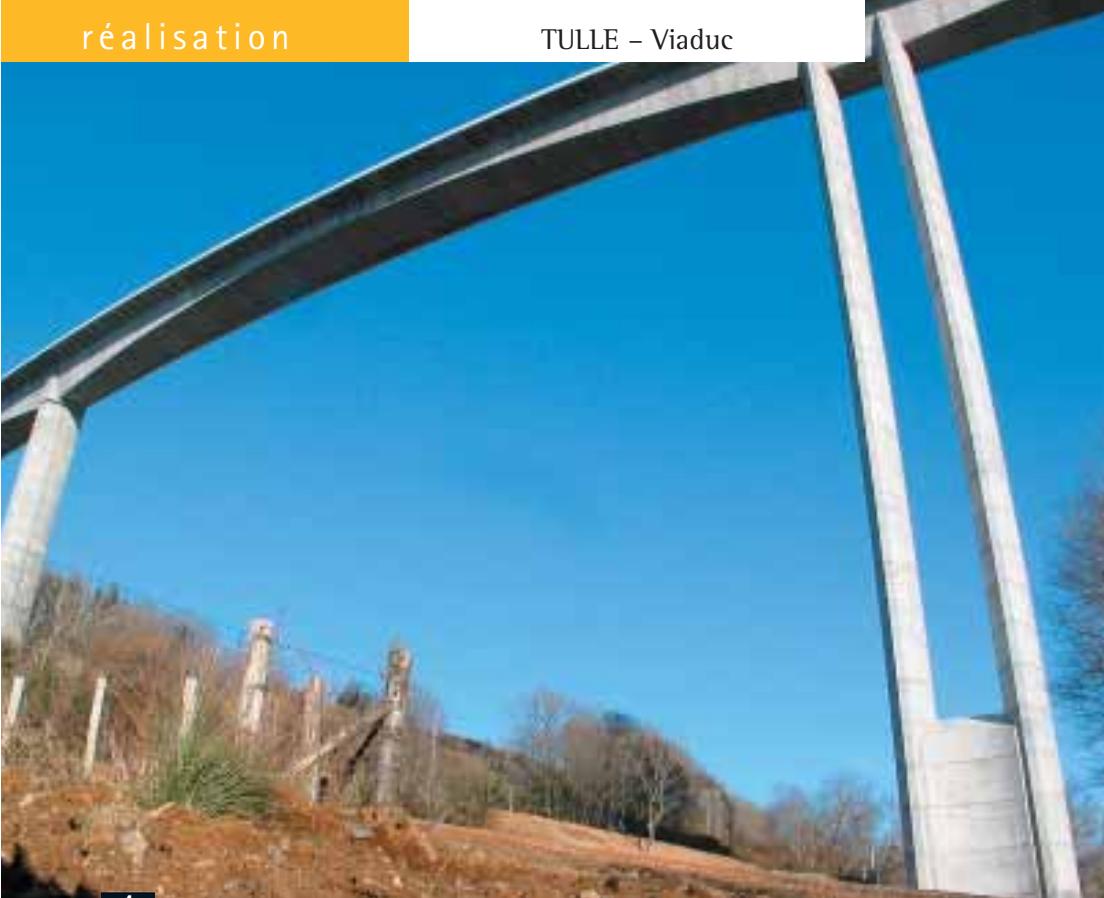
Pour alléger les deux piles centrales, dont la hauteur atteint respectivement 113 m côté ouest (vers Bordeaux) et 127 m à l'est (vers Clermont-Ferrand), l'architecte a choisi de dédoubler ces fûts en deux colonnes de section ovale largement espacées, les parties basses étant solidarisées par une liaison pleine. Cette géométrie crée une silhouette très significative, animée par les joints creux de coulage horizontaux, volontairement marqués, qui tempèrent cette verticalité en la cadencant d'une suite d'intervalles réguliers. *"Nous n'avons pas travaillé la qualité des parements en faisant appel à une quelconque texture*

TECHNIQUE

Conception et chantier "verts"

La protection de l'environnement est un domaine dans lequel les Autoroutes du sud de la France ont acquis une véritable expertise, ne serait-ce que pour les autres ouvrages exceptionnels de l'A89 (viaducs de la Clidane, du Chavanon, de la Barricade, des Barrails, du Mascaret...), mais aussi pour l'ensemble du tracé, la section courante de l'autoroute comportant de nombreux aménagements (bassins de récupération et de traitement des eaux, restitution des écoulements naturels, traitement paysager, passages pour la faune, écrans acoustiques...).

Pour le viaduc du Pays-de-Tulle, l'implantation au sein d'une ZNIEFF a guidé vers un impact réduit sur le paysage, d'abord en limitant le nombre des appuis. Quant au chantier, il a été soigneusement suivi sur le plan environnemental. *"Le béton n'est pas un matériau polluant, explique Vincent Vesval, de GTM Construction. En revanche, il faut veiller à la bonne récupération des déchets que sont les huiles utilisées pour lubrifier les coffrages et le matériel de chantier. Nous avons donc mis en place des bassins de décantation des effluents avant de rejeter les eaux dans la Corrèze."* Des précautions prises dans le cadre d'un PRE (Plan de respect de l'environnement), une procédure en phase avec la certification ISO 14000 de l'entreprise GTM Construction. *"Cela rejoint aussi la politique du groupe Vinci en matière de sécurité, précise l'ingénieur. Un chantier propre limite les risques d'accident et sous-entend une rigueur plus grande dans l'organisation, fondée sur une meilleure préparation."*



TECHNIQUE

Un maximum de compétences mobilisées

La courbure et les dimensions du viaduc du Pays-de-Tulle ont exigé de nombreuses études spécifiques. Outre les calculs d'ensemble à partir de deux modèles spatiaux, les bureaux d'études du groupement d'entreprises ont réalisé des calculs sur les effets structuraux du retrait, du fluage et de la relaxation menés jusqu'à 60 000 jours avec les lois de comportement du BPEL appliquées au béton à hautes performances (BHP). S'y sont ajoutées des études aux vents turbulents à différents stades d'avancement du chantier et en service, de la stabilité en construction, et enfin la vérification au flambement biaxial des piles dans leurs configurations les plus critiques, notamment avant réalisation des voussoirs sur piles.

Citons également l'étude de l'embase des puits de piles doubles et de la diffusion des efforts à leur jonction, la flexion transversale analysée aux éléments finis, et les réglages en construction intégrant les déformations verticales et horizontales des piles ainsi que la courbure du tablier et la longueur des fléaux.

ou à une quelconque matrice, ajoute l'architecte. Même si elles ont été préparées avec soin, les peaux des coffrages métalliques demeurent tout à fait standard. Quant au béton, il peut apparaître clair, mais il a été formulé à base de ciment gris (CEM I 52,5 CP2). Cela montre qu'il est possible d'obtenir un résultat de qualité avec des solutions courantes, qui conviennent parfaitement à une lecture générale de l'ouvrage imposée par son échelle.

● Un viaduc actuel et respectueux de la tradition

Une autre disposition en faveur d'une plus grande transparence de l'ouvrage est le choix d'un tablier monocaïsson en béton précontraint à inertie variable, la

hauteur variant de 13 m au droit des piles à 4 m à la clé. *"Dans l'imaginaire collectif, un pont est une voûte, reprend Charles Lavigne. Bien que réalisé avec les techniques de construction les plus actuelles, ce viaduc n'est pas en rupture avec la tradition."* Un élément architectural qui contribue à son intégration dans le paysage et explique son appropriation par les habitants de la région.

Quel type de béton utiliser pour concrétiser ce projet ? *"La maîtrise d'œuvre souhaitait un béton de type B60, répondant à la classe de gel sévère grâce à l'adjonction d'un entraîneur d'air, explique Vincent Vesval, directeur du secteur TP de la direction régionale Sud chez GTM Construction, mandataire du marché. Cela n'avait jamais été fait en France, et cette préconisation s'accompagnait d'incertitudes sur la régularité des caractéristiques du béton en phase de production en centrale, la répartition des bulles d'air étant difficile à maîtriser."* Solution trouvée par l'entreprise : prendre le problème à la source en optant pour un béton à hautes performances plus résistant (B80) grâce à un faible rapport eau-ciment, qui lui confère une grande compacité (ajout de fumées de silice). Ce béton est aussi



>>> La double courbure de l'ouvrage a exigé un contrôle renforcé des systèmes de visée et de guidage des équipages mobiles de construction par encorbellement.



6



7

>>> 4 5 La courbure des piles, dédoublées pour renforcer

la sensation de transparence, témoin de l'attention portée

par l'architecte au jeu des surfaces de béton avec les variations

de lumière au fil de la journée. 6 Les fûts elliptiques des piles

se prolongent en relief sur le tablier pour exprimer l'encastrement.

7 Fenêtre sur un panorama exceptionnel, le viaduc est

une combinaison réussie de discrétion, de sobriété et d'élégance.

moins sujet à la microfissuration due au retrait, ce qui abaisse sa perméabilité à l'eau. "Nous n'avons pas eu besoin d'utiliser d'entraîneur d'air, seul superplastifiant a été employé", précise Vincent Vesval. Cette même exigence de qualité et de durabilité a orienté le choix des granulats, prélevés dans la carrière de Tarmac-des-Caux. Notons encore que la rhéologie particulière de ce béton très fluide a imposé une fabrication *in situ* limitant les temps de transport, grâce à l'implantation de deux centrales de chantier.

● Nécessaire gain de temps

L'édification des piles, par levées de 4 m au rythme d'une par jour en deux postes, a amené l'entreprise à opter pour des coffrages sans tige de serrage entre les peaux extérieure et intérieure,

de manière à respecter le calendrier serré (les travaux ont été réalisés en 34 mois). "Ces outils apportent un gain de temps significatif en phase de mise en œuvre", souligne Vincent Vesval. Des temps de coffrage et de décoffrage réduits, donc, et des postes de rebouchage supprimés.

Questionné sur la hauteur hors normes des opérations, tant pour les levées de piles que pour la construction par encoffrement des 212 voussoirs à l'aide d'équipages mobiles, Vincent Vesval relativise la performance: "Les méthodes de construction sont classiques; travailler à 150 m de haut ne change rien hormis l'aspect psychologique, les difficultés étant levées en amont au cours des phases de préparation." Reste que la combinaison de portées de 180 m avec la double courbure de l'ouvrage (en plan et en dévers constant de 2,5 %) n'a pu

que compliquer la maîtrise des déformations du tablier et le respect de l'alignement, contrôlé par une visée très précise. Le tout avec des conditions climatiques bien peu clémentes: le vent et la pluie ont fortement mis à l'épreuve le courage de la centaine de personnes présentes sur le chantier au plus fort de l'activité, dès 6 heures du matin et jusqu'à 21 heures, grâce à deux équipes se relayant en deux postes de 7 h 30.

● 31 000 m³ de béton hautes performances

Entre le coulage de la première semelle le 26 septembre 2000 et l'inauguration en février 2003, près de 43 000 m³ de béton, dont 31 000 m³ de BHP, ont été mis en œuvre sur ce chantier hors norme. Mais au service d'un ouvrage d'une grande retenue, "venu épouser une vallée sans la déranger", selon les termes mêmes de Jean-Jacques Lacaze. Qui conclut: "S'il fallait résumer l'opération, je rapporterais les propos d'un contrôleur des Autoroutes du sud de la France: 'Le viaduc de Tulle est un ouvrage modeste, mais fier de l'être.'" ■

TEXTE : JEAN-PHILIPPE BONDY

PHOTOS : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO



Maître d'ouvrage :

ASF, direction opérationnelle de la construction de Tulle (A89 Centre)

Concepteur :

Jean Muller International

Architectes :

Charles Lavigne, Alain Montois et Christophe Chéron

Maîtrise d'œuvre générale :

Scetauroute – Jean Muller International

Maîtrise d'œuvre travaux :

Scetauroute, division Travaux de Naves

Groupeement d'entreprises :

GTM Construction (mandataire), Eiffage TP

Volume de béton :

40 000 m³

Coût :

34 M€

Les sept pires de l'exploit

●●● LE DERNIER MAILLON DE L'A75

EST AUJOURD'HUI EN COURS

DE RÉALISATION. LE VIADUC DE MILLAU,

SUPERBE OUVRAGE LANCÉ SUR LA

VALLÉE DU TARN, IMPRESSIONNE. SEPT

PILES DE BÉTON EN CONSTITUENT

LA STRUCTURE PORTEUSE. DÉDOUBLÉES

SUR LEURS QUATRE-VINGT-DIX DERNIERS

MÈTRES, ELLES SONT AUTANT

DE DIAPASONS GÉANTS, FIÈREMENT

DRESSÉS DANS UN PAYSAGE SUPERBE.

LA PLUS HAUTE DE CES PILES

ATTEINT 245 M AU-DESSUS

DE LA RIVIÈRE. UN RECORD MONDIAL.



Le viaduc de Millau impressionne. Du haut de ses sept piles monumentales, l'ouvrage, gigantesque, domine toute la vallée du Tarn. Au point le plus haut, le viaduc surplombe la rivière de 270 m tandis que ses pylônes culminent à 345 m. Plus haut que la tour Eiffel, tout simplement.

Michel Virlogeux est le concepteur de ce géant, et Lord Norman Foster en est l'architecte. Les piles, toutes identiques, affichent de fait une même particularité : une variation constante de leur géométrie. Ainsi, d'une superficie de 200 m² à sa base, la pile P2 – la plus haute – ne présente plus qu'une surface de 30 m² en son sommet. Chaque pile, à l'aspect d'un losange tronqué, se dédouble en une fine fourche sur les quatre-vingt-dix derniers mètres, prenant ainsi l'apparence d'un immense diapason. Dans ces circonstances, la pile

la plus courte – la P7 – est constituée sur toute sa hauteur de deux fûts parallèles en forme d'accent circonflexe. *“Le choix du dédoublement des piles permet de résoudre le délicat problème de la dilatation thermique du tablier”*, précise Claude Servant, directeur technique du projet.

● Réduire la densité des armatures passives

Les chevêtres s'inscrivent dans les têtes de piles. Ils restent donc invisibles de l'extérieur. La différence se situe à l'intérieur, puisque sur les quinze derniers mètres la structure est pleine. La zone dédoublée est précontrainte sur toute sa hauteur à l'aide de huit câbles 19 T 15 S. Le dispositif a pour but de réduire la densité des armatures passives. En phase définitive, le tablier doit reposer sur les piles par l'intermédiaire

RECORDS

Champagne !

C'est arrivé le 20 octobre 2003. En atteignant l'altitude vertigineuse de 245 m, la pile P2 du viaduc de Millau est entrée dans l'histoire. Celle des exploits. À ce jour, elle est la pile de pont la plus haute du monde. Il aura fallu 62 levées de coffrage et 14 mois de travail pour établir cette nouvelle référence.

Entre-temps, le 12 juin 2003, en franchissant le cap des 183 m, la pile P2 avait égalé puis dépassé un précédent record : les 176 m détenus par le pont de Kochertal, en Allemagne. Depuis, le record du monde appartient à la France. Et il devrait s'y maintenir un bon moment... L'occasion d'organiser un feu d'artifice et de faire sauter (très haut) quelques bouillons de champagne.



1

>>> **1** Le viaduc est inclus dans le parc régional des Grands Causses. Une implantation qui a imposé une approche environnementale stricte.

Photo d'ouverture – Sur leurs quatre-vingt-dix derniers mètres, et quelle que soit leur hauteur, les piles se dédoublent pour former d'immenses diapasons.



2



3

TECHNIQUE

Coffrages sur mesure pour piles monumentales

Quelque 6 500 m² de coffrages sont présents sur le site de Millau. *“Soit 2 000 t de matériel”*, précise Thomas Mönch, ingénieur du bureau d'études Peri, chargé du suivi “coffrages” sur le chantier. La constante variation de la géométrie des piles imposait un outil polyvalent. Ainsi, sur les faces principales de chaque pile, le coffrage a été divisé en sous-structures, complétées par des jeux de huit éléments de compensation. *“À chaque levée, un de ces éléments est retiré sur chacun des quatre angles de la pile”*, explique Thomas Mönch. À la 9^e levée, le jeu complet est remis en place en remplacement d'un sous-ensemble coffrant. Sur les côtés de chaque pile, ce sont les panneaux de coffrage d'extrémité qui compensent la variation géométrique. Toutes les 6 levées, un jeu de panneaux est supprimé. Pour la partie dédoublée du fût, Peri a conçu 23 jeux complets de panneaux coffrants, un par levée : ces coffrages sont communs à toutes les piles. Les coffrages intérieurs fonctionnent sur le même principe, avec plus de souplesse. *“Nous mettons en œuvre des tôles de compensation coulissantes qui donnent un léger négatif.”* La structure coffrante extérieure repose sur 196 consoles autogrimpantes ACS-R tandis que 96 consoles grimpanes SKSF 240 supportent les coffrages intérieurs. *“Chaque ensemble est dimensionné pour résister à des vents de 180 km/h*, indique Thomas Mönch. *Les banches autorisent des vitesses de bétonnage élevées et acceptent des pressions de 10 t/m².”* Enfin, pour garantir la bonne utilisation des outils, un coffrage-école complet à l'échelle 1, identique à ceux mis en œuvre pour la construction des piles, a été installé sur le site.

➤➤➤ **2** Coffrage et mur-école permettent la formation sur site des compagnons. **3** L'unité de fabrication des bétons se compose de deux centrales Liebherr. **4** Les piles sont bétonnées à l'aide d'une benne de 3 m³. **5** Sept unités de coffrages auto-grimpants permettent la construction des piles. Les levées, de 4 m environ, interviennent tous les 3 jours en partie basse, tous les 3 à 4 jours dans la zone dédoublée.

d'appareils d'appui sphériques. Ces derniers, au nombre de quatre par pile, constituent une liaison de type “rotule”. *“Afin de contrecarrer tout risque de soulèvement aux états limites de service, ces appuis sont cloués sur les chevêtres à l'aide de câbles de précontrainte”*, explique Claude Servant.

● Un chantier pour chaque pile

Chacune des piles est envisagée comme un chantier autonome. Avec ses hommes et son matériel. Seules les deux centrales à béton, l'aire de préfabrication des armatures et celle de préparation des coffrages sont communes à l'ensemble du site.

Les piles sont réalisées par levées de 4 m. *“Cette hauteur est le résultat d'un compromis économique”*, poursuit Claude Servant. La construction avance

au rythme d'une levée tous les 3 jours sur la partie basse avant de passer à une levée tous les 3 à 4 jours dans la zone dédoublée. Chaque changement de niveau impose une modification plus ou moins importante des coffrages grimpants (paroi intérieure) et auto-grimpants (paroi extérieure). Les trente premiers mètres des piles sont bétonnés à la pompe. Au-delà, une benne de 3 m³ prend le relais. *“Un coulage nécessite au maximum 300 m³ de béton”*, souligne le directeur technique du projet. Toutes les piles reposent sur des fondations semi-profondes composées de quatre puits marocains de 5 m de diamètre descendant dans le sol à une profondeur de 9 à 16 m pour atteindre le substratum rocheux. Une semelle rectangulaire de 3,5 à 5 m d'épaisseur couronne ces pieux massifs, constituant ainsi l'assise des piles. ■



4



5

Quatre bétons au service de la durabilité

Durabilité. Telle est l'idée qui préside à la destinée du viaduc de Millau. Elle s'applique donc à tous les niveaux de la construction de l'ouvrage. Avec d'autant plus de force que le viaduc est garanti pour une durée d'utilisation de 120 ans dans le cadre d'un entretien normal, c'est-à-dire sans réparation importante ! Dans un tel contexte, les bétons se retrouvent naturellement en première ligne des préoccupations des ingénieurs. L'objectif étant de définir des dispositions adaptées, permettant de maîtriser les causes potentielles de dégradation, et de respecter le cahier des charges imposé par l'État. La compagnie Eiffage du viaduc de Millau y est d'autant plus sensible qu'elle en a obtenu la concession pour une durée de 75 ans.

Quatre formules de béton sont présentes sur le site, mais toutes intègrent les mêmes constituants de base. À commencer par le ciment, identique pour

toutes les formulations. *"Le principe est d'assurer une meilleure maîtrise, de simplifier les opérations de suivi, et de garantir ainsi une meilleure qualité"*, explique Michel Guérinet, directeur scientifique d'Eiffage Construction. Et le technicien de poursuivre : *"Le CEM I 52,5 N CE PMES CP2 NF de la cimenterie du Teil est l'unique ciment mis en œuvre sur le chantier."*

● Qualités multiples

Ce ciment se caractérise en premier lieu par sa teneur en clinker qui conduit à une bonne passivation des armatures. Il s'inscrit ainsi dans le cadre des recommandations établies au cours du projet national BHP 2000. Mais le choix provient aussi de son faible dégagement de chaleur initial (taux de C3A très bas) et de sa teneur limitée en sulfate qui autorise l'utilisation de la précontrainte (caractéristiques complémentaires CP2). Le faible taux en alcalins

complète le tableau des spécificités recherchées pour cet unique ciment. Vis-à-vis de l'alcali-réaction, le bilan global des alcalins contenus dans le béton a fait apparaître un niveau inférieur à $1,4 \text{ kg/m}^3$. Cette faible quantité d'alcalins apporte toutes les garanties de protection recherchées, et ce, d'autant plus que le milieu offre une humidité moyenne à basse.

● Sélection rigoureuse des sables et granulats

Les granulats retenus, classifiés NR (non réactifs), sont des calcaires issus de la carrière de Rascalat choisis pour leurs qualités et leur proximité. Le traitement particulier des sables – séparation et recombinaison – permet une grande maîtrise du module de finesse, tandis que le diamètre maximal des granulats est limité à 14 mm afin d'éviter les coefficients de forme pénalisants pour la qualité des bétons. Ces derniers utilisent en outre un sable correcteur, lui aussi NR et provenant de la carrière de Méric. La gestion de l'approvisionnement en granulats s'inscrit dans le cadre d'un plan d'assurance qualité. Tous les matériaux bénéficient de la marque NF.

CHIFFRES CLÉS

- Hauteur au sommet des pylônes : 343 m.
- Altitude du tablier au-dessus du Tarn : 270 m.
- Hauteur de la pile la plus haute (P2) : 245 m.
- Hauteur de la pile la plus courte (P7) : 78 m.
- Hauteur des pylônes (au-dessus du tablier) : 87 m.
- Longueur de franchissement : 2 460 m divisés en six travées de 342 m et deux de 204 m.
- Nombre de haubans : 154.
- Largeur du tablier : 32,05 m (2 x 2 voies de circulation).
- Poids du tablier métallique : 36 000 t (cinq fois la tour Eiffel).
- Volume de béton : 85 000 m³ dont 55 000 m³ de BHP (B60).
- Armatures passives : 13 450 t.
- Pente du tablier : 3 % dans le sens nord-sud.



6



7

- >>> 6** Pour garantir leur stabilité, les grues sont fixées sur les piles par un ou plusieurs ancrages. **7** Chaque pile constitue un chantier indépendant et autonome, avec son matériel et ses hommes. En revanche, les centrales à béton, l'aire de préfabrication des armatures et celle des coffrages sont communes à l'ensemble du site.
- 8** Le lancement du tablier marque l'étape finale de la construction du viaduc de Millau. L'ouvrage doit s'étirer sur plus de 2 460 m de long.

Des formulations de base avaient été étudiées pour ces différents bétons, dans le cadre d'une préétude approfondie. Il avait ainsi été proposé un dosage à 460 kg de ciment par mètre cube pour un béton B60.

● Hydratation "basse température"

Sigma Béton, à l'origine de la définition des formules finales, en liaison avec la direction scientifique d'Eiffage Construction, a ensuite optimisé la formulation en réduisant le dosage à 420 kg par mètre cube de béton, ce qui permet de réduire les dégagements de chaleur lors de l'hydratation et de la prise du béton. "À aucun moment l'élévation de température au cœur du béton ne dépasse 55°C", précise Michel Guérinet. Ce qui permet de rester sous la limite critique

de 80 °C absolus fixée par le fascicule 65A. Le rapport eau efficace-liant, fixé à 0,335, va aussi dans le sens de la qualité puisque ce taux très bas permet de garantir une bonne résistance au gel du béton durci, par réduction de la porosité notamment. Il assure en même temps une maîtrise correcte en termes d'industrialisation du matériau. Cette faible quantité d'eau impose l'adjonction d'un superplastifiant dit "de nouvelle génération" pour rendre le béton maniable. L'adjuvant, normalisé NF, fluidifie le béton qui s'approche alors du caractère "auto-plaçant". Un plus appréciable compte tenu de l'importance des armatures. Ces dernières sont aussi protégées par un enrobage de 5 cm (semelles) ou 4 cm (piles), ce qui contribue à améliorer la durabilité de l'ouvrage.

Les B 60 constituent la grande majorité des bétons coulés à Millau : ils per-

mettent la construction des sept piles monumentales du viaduc, dont la plus haute, estampillée P2, atteint une hauteur record de 245 m sous le tablier. Une version B35 "G+S" avec entraîneur d'air de ce béton est également utilisée pour la réalisation des parties extérieures des deux culées. Une démarche classique, sachant que ces éléments de la superstructure sont les plus soumis aux agressions chimiques liées à l'utilisation de sels de déverglaçage. Ils doivent donc faire l'objet d'un suivi régulier, mené dans le cadre du plan d'entretien général de l'ouvrage.

● Un béton avec fumées de silice pour les fondations

Pour les puits de fondation comme pour les semelles, Eiffage TP a mis en œuvre une formule de B 35 TP intégrant 30 kg de fumées de silice par mètre cube. Le même B 35 TP mais sans fumées de silice constitue la dernière variété de béton du chantier. Il a permis la réalisation des puits de fondation et des semelles destinées à supporter les palées provisoires, celles-là même qui devaient servir d'appuis intermédiaires au tablier au moment de sa mise en

place par lancement. "Nous n'avons pas prévu de formules 'été' et 'hiver' pour les bétons", indique Michel Guérinet. Mais en période froide, nous chauffons l'eau pour garantir, dans tous les cas de figure, la fourniture d'un béton dont la température minimale est de 20 °C. En été, au contraire, c'est la température des granulats que nous contrôlons pour que le béton ne dépasse jamais 25 °C à la livraison."

Au sens de la norme NF P 18-305, le site du viaduc de Millau est classé en environnement 2b1 (gel modéré). Toutefois, le concessionnaire a préféré surclasser l'ouvrage en 2b2 (gel sévère), du moins pour ce qui concerne les parties hors sol. Le niveau de gel a ainsi été porté à plus de dix jours par an, avec des températures inférieures à - 10 °C. La capacité de résistance des B60 à cet environnement a été justifiée par des essais de performance.

Les nombreuses précautions prises autour des bétons – température, nature et caractéristiques du ciment, teneur en eau, rapport eau-ciment, utilisation de granulats non réactifs – contribuent largement à la qualité et à la durabilité maximales voulues pour le viaduc de Millau. ■



8

Un environnement exceptionnel, un chantier exemplaire

“ **L**’environnement est un état d’esprit.” Sandrine Chotard, responsable environnement du chantier du viaduc de Millau, en est convaincue. “Le site est exceptionnel. Sa seule vue suffit pour sensibiliser les gens.” La zone des travaux est incluse dans le parc régional naturel des Grands Causses. Nappes d’eau souterraines, rivières, flore rare, constituent autant de groupes à préserver. Les emprises sont restreintes pour limiter les surfaces à déboiser. Ainsi, la base vie, les bureaux, les centrales à béton, les aires de préparation des coffrages et des armatures, l’atelier d’entretien et le magasin sont installés sur la zone des Cazalous. Une approche qui a permis de réduire au minimum la superficie des neuf chantiers du viaduc (sept piles et deux culées). “À Millau, l’État applique ses engagements en faveur de l’environnement”, poursuit Sandrine Chotard. Il a donc émis un document invitant le concessionnaire – la Compagnie Eiffage du viaduc de Millau – à honorer

ces mêmes engagements. De fait, le chantier est soumis à un Plan de respect de l’environnement (PRE). “Ce plan identifie les risques liés au chantier. Il permet la mise en place des dispositions préventives et l’organisation des contrôles et des mesures pour traiter les pollutions.”

● Prévenir les risques à tous les niveaux

Avant le début des travaux, un état des lieux a été dressé au niveau de l’eau, de l’air et du milieu naturel. Durant la construction, des relevés réguliers sont effectués. “Douze points d’eau sont suivis en permanence.” Sage précaution quand on sait qu’une partie du site est implantée en zones karstiques, très délicates à dépolluer. “La seule solution pour supprimer ce risque est de faire du préventif”, insiste Sandrine Chotard. À l’image des bacs de rétention qui isolent les deux cuves d’hydrocarbures de 2 500 l présentes sur le chantier. Le PRE prévoit des plans d’action selon un pro-

cessus prédéfini en fonction de la gravité du dommage : utilisation de produits absorbants, terrassement des zones contaminées ou pompage des eaux. Pour l’air, seule la prévention prévaut. Ainsi, l’ensemble des pistes du chantier ont été traitées. Des capotages équipent les centrales à béton. Quant au bruit, des mesures sont réalisées régulièrement. En parallèle, une modélisation “bruit” a été faite par l’État. Cette étude montre que l’impact sonore de la circulation sur le milieu ambiant n’excédera pas 1 dB(A). La conception architecturale et technique du viaduc constitue le second pan de l’objectif de préservation du milieu naturel. Le choix d’un ouvrage multi-haubané, tout d’abord, a conduit à une structure très fine, réduisant d’autant son impact visuel. Ensuite, la préfabrication du tablier permet de diminuer le volume des travaux effectués à Millau. Une belle performance environnementale, assurément. ■

TEXTE : ANTOINE VAVEL

PHOTOS : GUILLAUME MAUCUIT-LECOMTE



Concédant :
État

Maître d’ouvrage et concessionnaire :
Compagnie Eiffage du viaduc de Millau

Maître d’œuvre :
Groupement Setec-SNCF

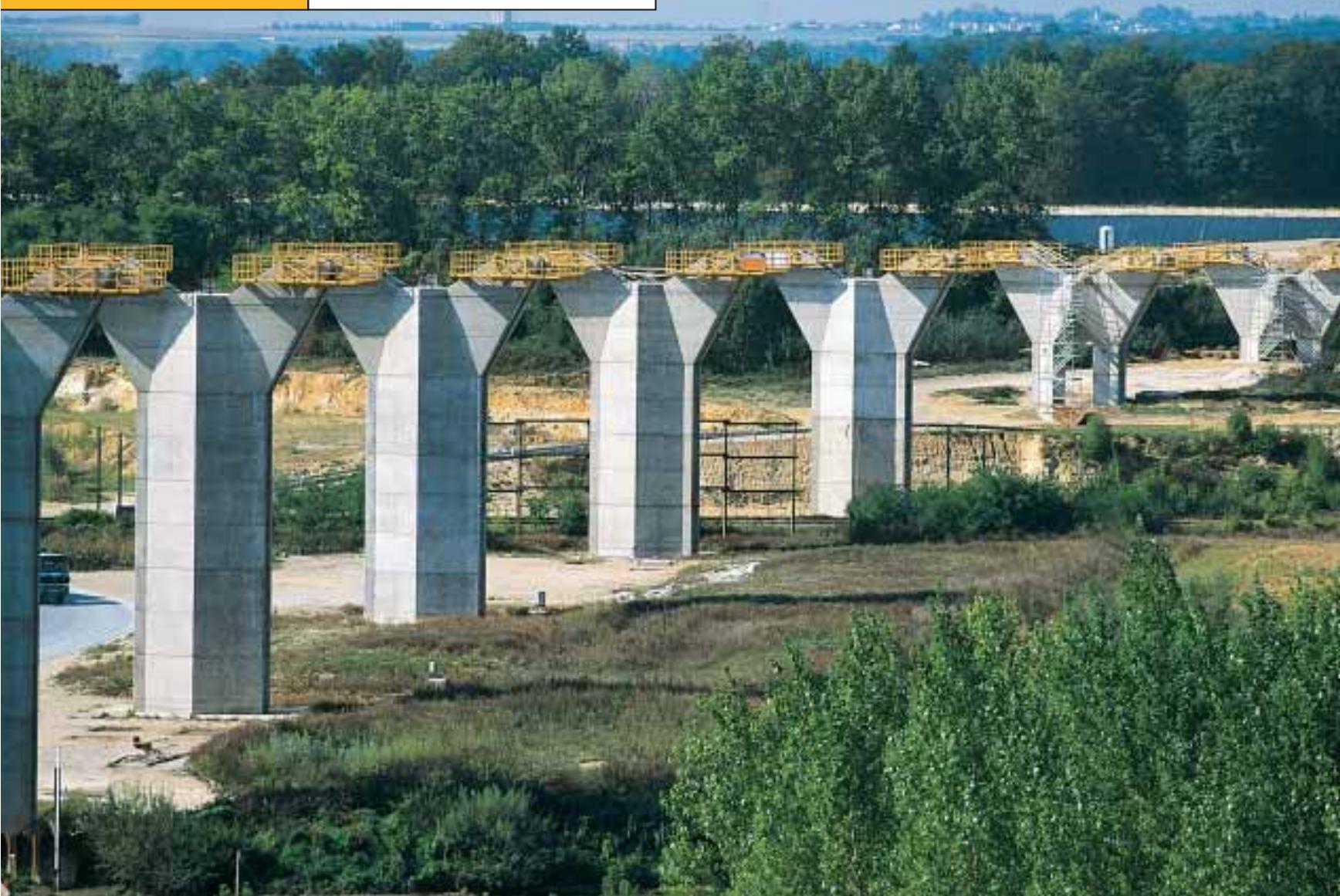
Architecte :
Sir Norman Foster

Conception technique :
Michel Virlogeux

Entreprise lot “génie civil” :
Eiffage TP

Haubans :
Freyssinet

Coût :
320 M€



Le béton et l'acier au service de l'innovation

●●● L'INNOVATION PRÉSIDE À LA DESTINÉE DU VIADUC DE MEAUX. L'OUVRAGE, QUI S'ÉTIRE SUR UNE LONGUEUR TOTALE DE 1 200 MÈTRES AU-DESSUS DE LA VALLÉE DE LA MARNE, EST LE FRUIT D'UN APPEL D'OFFRES SUR PERFORMANCES. UNE DÉMARCHÉ QUI POUSSE LES ENTREPRISES À INNOVER. LA SIGNATURE DU VIADUC : UN TABLIER ÉLANCÉ DE TYPE POUTRE-CAISSON À ÂMES PLANO-TUBULAIRES ET HOURDIS SUPÉRIEUR ET INFÉRIEUR EN BÉTON PRÉCONTRAIT. LA STRUCTURE MIXTE AINSI OBTENUE COMPOSE UNE SECTION PARTICULIÈRE AU RENDEMENT MÉCANIQUE TRÈS ÉLEVÉ DE 0,83. UNE VALEUR VOISINE DE LA PERFECTION, TOUT SIMPLEMENT.

Au sud-ouest de Meaux (77), plusieurs chantiers travaillent de concert à un unique dessein : créer une liaison routière entre l'A4 et la RN3. Un axe majeur dont l'absence génère un trafic soutenu au cœur de la cité melloise. À l'heure actuelle, il n'existe pas d'autre possibilité de transit pour nombre d'automobiles et surtout de poids lourds. Clé de voûte de ce vaste programme : le viaduc de Meaux. L'ouvrage permettra le franchissement de la vallée de la Marne. "D'une longueur de 1 194 m, ce viaduc enjambe successivement un chemin vicinal, le canal de Chalfert, la Marne, la voie SNCF Paris-Strasbourg et le canal de l'Ourcq", résume Emmanuel Boudot, directeur du projet pour le groupement d'entreprises Razel, RNF (sa filiale) et Mikaëlian Architecte. Incontestablement, le viaduc de Meaux est novateur dans sa conception. À commencer par l'ossature plano-tubulaire

des âmes du tablier. "Le projet est plein d'intentions", confirme l'architecte Berdj Mikaëlian. Et Jean-Yves Sablon, représentant de la DDE 77, maître d'œuvre de l'opération, de poursuivre : "Cette réalisation s'inscrit dans le cadre d'un appel d'offres sur performances. L'approche invite les entreprises à proposer des solutions innovantes en termes de construction." Elle a aussi pour buts l'amélioration du fonctionnement structurel d'un ouvrage et la réduction des coûts liés à sa construction, à son exploitation et à son entretien. L'idéal étant de pouvoir répondre à ces deux critères en même temps.

● Variation des couleurs

"Dans le cadre de cet appel d'offres, la conception technique et architecturale était libre. Seules, les caractéristiques fonctionnelles et géométriques nous étaient imposées", complète Emmanuel

Boudot. "Nous avons avant tout recherché la légèreté et l'élégance, reprend Berdj Mikaëlian. Ces deux aspects sont essentiels pour un ouvrage d'art." Éléancé, le viaduc de Meaux présente un tablier très fin – 4,50 m – en comparaison de sa longueur – près de 1 200 m. Autre qualité, l'esthétique. Les âmes métalliques sont peintes en vert tandis que les brancs qui reprennent le porte-à-faux du hourdis supérieur arborent une teinte bleue. Cette option permet d'obtenir un effet visuel remarquable ainsi décrit par l'architecte : "Selon le point de vue de l'observateur, les flancs du tablier opèrent une variation de couleur allant du vert au bleu."

Vingt et une piles, toutes identiques, supportent le tablier. Seules les piles P1 et P2, de faible hauteur, se distinguent par leurs fûts évidés afin de les rendre moins massifs. Les autres présentent une hauteur pouvant atteindre 35 m sous tablier. Rectilignes, les fûts dessi-



>>> **1** Vingt et une piles en béton armé, toutes identiques, supportent le tablier mixte du viaduc. **2** Les piles les plus hautes atteignent 37,20 m, les plus courtes, 15,80 m.



3



4

>>> 3 La partie centrale des chevêtres est creuse. Cette particularité a imposé une construction en deux phases. **4** Long de 1 200 m, le tablier décrit une courbe constante de 1 000 m de rayon. **5** L'ouvrage comporte 22 travées de longueurs comprises entre 49 m et 55 m en zone courante et 93 m sur la Marne. **6** Le tablier est construit par plots de 28 m maximum. Il est mis en place par poussages successifs.

nent un losange de 7,50 m de long pour 4,50 m de large. Leur construction, aujourd'hui achevée, s'est faite par levées de 5 m, à raison d'un bétonnage tous les deux jours.

Pour respecter le cycle de coffrage-décoffrage, Razel a demandé un béton ayant 45 min de maintien de rhéologie et garantissant une résistance de 12 MPa à 18 heures. Le choix s'est porté sur un B35 formulé sur la base d'un CEM I 52,5 CP1, dosé à 360 kg avec un rapport E/C de 0,42. L'ouvrabilité sans retard de prise est assurée par un superplastifiant.

● Des chevêtres construits en deux étapes

Un chevêtre en V surmonte chaque fût. L'élément, de 7,50 m de haut pour 15 m d'ouverture, est creux en son centre.

Une telle disposition a imposé un mode de construction en deux étapes successives pour permettre de sortir le coffrage intérieur et de couler la dalle supérieure (sur prédalle).

Les très importants volumes de béton nécessaires à chaque coulage – 96 m³ en première phase et 75 m³ en seconde phase – ont amené à retenir un matériau à chaleur d'hydratation limitée – 60 °C au maximum. Le choix, en l'occurrence, s'est arrêté sur un ciment CEM II/B 42,5 N CP1 intégrant du laitier dont la présence réduit la montée en température du béton. Le béton obtenu, un B45, incorpore des granulats non réactifs pour pallier tout risque d'alcali-réaction. Le matériau offre une ouvrabilité de 1 h 30 à 2 heures, suffisante pour autoriser le coulage alterné des deux branches du V du chevêtre. La présence d'une précon-

trainte dans la partie supérieure du chevêtre explique la résistance particulière du béton. Pour supporter le tablier, six câbles de type 12 et 19 T15 relient les deux extrémités de la structure en passant par la dalle intermédiaire.

● Un poussage par semaine

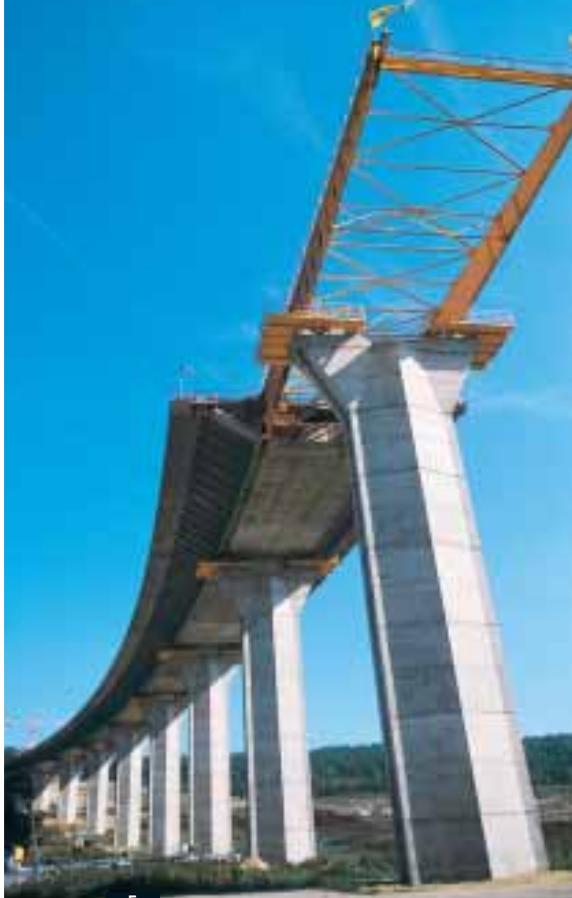
Large de 31,10 m, le tablier est construit par plots de 25 m ou 28 m, au rythme d'un poussage par semaine – un poussage qui est en réalité un tirage, réalisé par l'intermédiaire de deux vérins de traction. Les bétonnages, d'une durée de 6 à 8 heures, varient de 150 à 170 m³ pour le hourdis inférieur et de 240 à 275 m³ pour le hourdis supérieur. Le B45 utilisé, d'une résistance de 18 MPa à 18 heures et formulé à partir d'un ciment CEM I 52,5R CP2 dosé à 400 kg (E/C de 0,44), est certifié sans alcali-réaction par la présence de granulats calcaires concassés non réactifs issus des carrières du Boulonnais. Ces derniers, riches en fillers, rétenteurs d'eau naturels, imposent l'utilisation d'un défloculant puissant pour garantir une bonne maniabilité du béton.

Toute la précontrainte intérieure du tablier est mise en œuvre dans des

gaines injectées par un coulis de ciment. Dans le hourdis supérieur, elle se compose de quinze câbles 12T15 répartis en cinq zones. Le hourdis inférieur, le plus sollicité, intègre huit câbles 19T15 disposés en deux zones. Tous ces câbles couvrent plusieurs tronçons de tablier. Ils sont ancrés dans des bossages.

Pour compléter le dispositif, une précontrainte longitudinale extérieure constituée de quatre câbles 19T15 sera mise en œuvre une fois le tablier définitivement mis en place. Dans le sens transversal, quatre monotorons T15 gainés et graissés, mis en œuvre tous les mètres, s'opposent aux phénomènes de flexion locale du tablier.

Enfin, le franchissement de la Marne, à mi-parcours, engendre une portée de 93,15 m entre piles. De fait, pour pouvoir conserver le principe du pont poussé et un tablier à hauteur constante, cette travée centrale bénéficiera, en phase définitive, d'un sous-bandage qui assurera sa tenue et sa rigidité. Sorte de précontrainte extradossée, il se composera de six câbles 27T15, excentrés de 10 mètres par rapport à la sous-face du tablier par trois poinçons en forme de V. Une touche d'originalité supplémentaire pour le viaduc. ■



5



6

Recherche de l'économie et de l'innovation

“ **I** l n'est d'innovation valable, et donc justifiable, que celle qui apporte un progrès au niveau du fonctionnement structurel et/ou une amélioration de la rentabilité. ” Partant de ce principe, Razel a mené une étude approfondie quant aux options architecturales et au choix des techniques fondamentales du viaduc de Meaux. Ainsi, le matériau béton trouve ici sa pleine justification compte tenu des dimensions de l'ouvrage : 1 194 m de long pour une largeur de tablier de 31,10 m. L'expérience de l'entreprise a montré que, pour les grandes longueurs, l'utilisation du béton conduisait à des coûts de construction plus réduits. Razel a ensuite opté pour des portées moyennes pour le tablier, car plus économiques que les grandes. Exception faite du franchissement de la Marne sur 93,15 m, les distances nominales entre appuis varient de 52,78 à 55,98 m. Le choix de portées moyennes est d'autant

plus opportun qu'avec une hauteur sous tablier d'environ 35 m, il conduit à un rapport longueur de travée/hauteur de pile de 1,6, c'est-à-dire proche du nombre d'or. Au plan architectural et esthétique, cela donne une impression de stabilité et d'équilibre harmonieux des dimensions.

● Un tablier unique

La méthode de construction par poussage constitue l'alternative technique suivante. Ce procédé permet de très bons rendements, plus rentables que la réalisation par encorbellements successifs (ou par pose de voussoirs préfabriqués). La géométrie de l'ouvrage – un rayon de 1 000 m en plan et un profil en long en pente constante de 2 % –, répétitive et superposable, rendait possible la mise en œuvre de cette technique. La méthode réduit en même temps tout risque de pollution car elle concentre la presque totalité de l'activité en un seul

endroit : l'aire de préfabrication. Enfin, l'entreprise a retenu la solution du tablier mono-caisson car, contrairement à d'autres méthodes, la largeur et donc la dimension des éléments poussés n'engendrent aucun problème particulier. La recherche esthétique a aussi orienté vers un tablier unique, seule alternative permettant une seule pile par ligne d'appuis. L'architecte a conforté ces choix fondamentaux. Une confirmation d'autant plus significative qu'il est intervenu très tôt dans le projet. “Les approches techniques et esthétiques ont fait l'objet d'une étude conjointe avec l'entreprise, souligne Berdj Mikaelian. Le dialogue était permanent entre tous les intervenants.”

● Utiliser les matériaux au mieux de leurs performances

Les choix techniques, esthétiques et économiques du viaduc de Meaux figés, restait une étape à franchir : celle de l'innovation. Elle devait permettre l'optimisation des performances de la structure en tenant compte des caractéristiques de l'ouvrage et de la méthode de construction. La réponse est venue de la mise au point, en collaboration

avec Michel Marchetti, consultant, d'un nouveau type de section transversale pour le tablier : une poutre-caisson mixte à âmes plano-tubulaires. “L'idée consistait à utiliser les matériaux au mieux de leurs capacités et de leurs caractéristiques, explique Michel Placidi, directeur technique du groupe Razel. Selon ce raisonnement, le béton

CHIFFRES CLÉS

- **Longueur de franchissement : 1 194 m divisés en 22 travées (rayon en plan : 1 000 m).**
- **Travée la plus longue : 93 m au-dessus de la Marne.**
- **Largeur du tablier : 31,10 m (2 x 3 voies de circulation).**
- **Hauteur des piles : de 15 à 35 m.**
- **Béton fondations et appuis : 14 000 m³.**
- **Béton tablier : 18 125 m³.**
- **Armatures de précontrainte : 680 t.**
- **Armatures passives : 3 760 t.**
- **Âme plano-tubulaire + bracons : 2 880 t.**



7



8

**>>> 7 et 8 L'âme du tablier est verte tandis que les
bracons sont peints en bleu. Ce choix architectural permet d'obtenir
un très bel effet visuel : selon le point de vue de l'observateur,
les flancs opèrent une variation de teinte allant du vert au bleu.**

précontraint des hourdis supérieur et inférieur assure la reprise des efforts de compression, tandis que l'acier des âmes contrecarre les sollicitations de cisaillement sous effort tranchant.

● Limiter l'épaisseur et le poids des âmes

En effet, pour améliorer le rendement mécanique d'une section, les âmes doivent être le plus minces et le plus légères possible. En même temps, il faut faire en sorte qu'elles ne reprennent aucun effort normal afin d'obtenir la section la plus performante qui soit. Dans ce contexte, l'utilisation de structures en treillis a été exclue car l'application ponctuelle d'efforts concentrés s'accommode mal de hourdis en béton. Idem pour les âmes métalliques planes continues qui, connectées aux parties en béton, bloquent le retrait et le fluage tout en absorbant une partie de la précontrainte.

Razel a donc suivi une voie inédite qui trouve son origine en Corse, avec le pont

sur le Vecchio. Afin de donner une plus grande apparence de légèreté à la structure de l'ouvrage – pour mieux l'intégrer dans son site naturel –, l'architecte Berdj Mikaëlian avait opté pour une ossature évidée. "À l'époque, nous avons étudié une structure en béton fonctionnant non comme un treillis classique mais à la manière d'une poutre à âmes ajourées", explique Michel Placidi. Les études très poussées avaient alors révélé un comportement original de l'ossature débouchant sur un rendement mécanique très élevé de la structure. C'est cette idée d'âmes évidées qui a été reprise pour la construction du viaduc de Meaux, mais sous une forme nouvelle puisque ce type de structure n'est pas compatible avec la technique de construction par poussage.

● Le principe "plano-tubulaire"

L'âme plano-tubulaire a apporté la réponse à ces contraintes parfois antinomiques. Cette ossature se compose d'une tôle métallique continue interca-

lée à espaces réguliers (tous les 1,55 m) de tubes eux aussi métalliques. Ces tubes, déformables, permettent d'absorber, sans opposer de réaction, les déformations longitudinales imposées par le béton, efforts provenant de la précontrainte, des variations thermo-hygro-métriques, du retrait ou du fluage. "En s'ovalisant, les tubes empêchent la transmission d'efforts normaux longitudinaux dans les âmes, explique Michel Placidi. Les âmes, reliées de manière physique au hourdis en béton, ne résistent donc plus qu'au cisaillement dû à l'effort tranchant."

L'adoption à Meaux de ce nouveau type de section de tablier a abouti, comme pour le pont sur le Vecchio, à une très importante diminution de la quantité de précontrainte (près de 30 % de moins). En effet, la précontrainte placée dans le hourdis supérieur n'ayant aucune influence sur le hourdis inférieur, il devient possible de profiter, en phase définitive, de l'ensemble de la précontrainte initiale, câbles provisoires compris. Enfin, la section à âmes plano-tubulaires offre un rendement mécanique très élevé de 0,83, le rendement absolu correspondant à 1 ! ■

TEXTE ET PHOTOS : ANTOINE VAVEL



Maître d'ouvrage :
ministère de l'Équipement,
des Transports et
du Logement

Maître d'œuvre :
DDE 77,
Sagi – Études et travaux neufs
ouvrages d'art

Architectes :
Berdj et Stéphane Mikaëlian

Groupement d'entreprises :
Razel Grands Travaux,
Razel NRF,
Mikaëlian, architecte

Coût :
37 M€ HT

solutions

Au calme des écrans acoustiques en béton

●●● EFFICACITÉ, PÉRENNITÉ, ESTHÉTISME, COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE

ET PRÉSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT, TELS SONT LES CINQ ATOUTS DES

ÉCRANS ACOUSTIQUES EN BÉTON. L'UTILISATION DU MATÉRIAU,

PRODUIT DE PRÉDILECTION DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, APPARAÎT MÊME

LOGIQUE, VOIRE NATURELLE, DANS LA CONSTRUCTION DE CES

ÉQUIPEMENTS DE PLUS EN PLUS INDISPENSABLES. L'OFFRE DE L'INDUSTRIE

DU BÉTON CONSTITUE UNE PALETTE DE SOLUTIONS PERMETTANT DE

SATISFAIRE LES ATTENTES DES DIFFÉRENTS ACTEURS DE LA CONSTRUCTION

COMME DES RIVERAINS. CETTE DIVERSITÉ, CETTE PERTINENCE, CETTE

EFFICACITÉ, FONT DE L'INDUSTRIE DU BÉTON LA FILIÈRE DE RÉFÉRENCE

POUR LA CONCEPTION ET LA FABRICATION D'ÉCRANS ACOUSTIQUES.



→ Colomiers

Écran acoustique double face sur la route nationale.

p. 21



→ Autoroute A3

Un dispositif impressionnant aux portes de la capitale.

p. 22



→ Charenton

Un nouvel écran acoustique encadre l'autoroute A4.

p. 23



→ Autoroute A104

Mur de soutènement acoustique : une solution "deux-en-un" sur la Francilienne.

p. 24

→ Une réponse adaptée aux préoccupations d'aujourd'hui

PREMIER TROUBLE AU CONFORT DES FRANÇAIS, LE BRUIT A ENVAHI NOS AGGLOMÉRATIONS. COROLLAIRE, L'USAGE DES ÉCRANS ACOUSTIQUES SE DÉVELOPPE... TOUT COMME L'USAGE DU MATÉRIAU BÉTON, PARTICULIÈREMENT PERFORMANT.

Le bruit, fléau de notre société ? Une chose est sûre : de plus en plus de personnes (40 % de la population) se plaignent de ses méfaits. D'où une demande toujours plus pressante de dispositifs permettant d'atténuer, voire d'annihiler les nuisances sonores. Dans ce domaine, l'industrie du béton apporte une réponse adaptée aux préoccupations sonores des riverains, mais aussi des élus locaux, des prescripteurs, des bureaux d'études et des architectes. Les écrans préfabriqués sont une solution logique, utilisée et validée depuis plus de 25 ans pour lutter efficacement contre les nuisances sonores générées par les trafics routier et ferroviaire.

"Avant de construire un écran, une étude acoustique doit être réalisée pour définir les dimensions et les caractéristiques de l'ouvrage", rappelle Thierry

Cézard, président du groupe "écrans acoustiques" à la Fédération de l'industrie du béton (Fib). L'étude précisera aussi si l'écran doit être placé d'un seul côté du secteur à isoler (chaussée, voie ferrée...) ou bien de part et d'autre. Et Gérard Garcia, responsable de la division "Béton Bois Système" (groupe Béton Moulé Industriel), de poursuivre : *"C'est au moment de la mise au point du projet que seront déterminées les performances acoustiques de l'écran en fonction des contraintes de bruit."* Autrement dit, un écran peut être adapté de façon précise aux ondes sonores qu'il doit piéger.

● Le bruit, une superposition de sons, de fréquences, de niveaux sonores

Le son est le résultat décelable par l'oreille humaine de la vibration de l'air générée par une source de bruit. Le bruit correspond en fait à une superposition de sons, de fréquences et de niveaux sonores. Notre appareil auditif perçoit une gamme de fréquences comprise entre 20 Hz et 16 000 Hz. Elles peuvent être absorbées d'une manière plus ou moins efficace en fonction de leur longueur d'onde. Ainsi, les écrans acoustiques en béton

absorbant tel le béton de bois présentent un coefficient d'absorption supérieur à 90 % pour les fréquences supérieures à 650 Hz.

En absorbant les ondes sonores, mais aussi en les réfléchissant, en les diffractant ou encore en freinant leur transmission, l'écran réduit la pression acoustique, exprimée en décibels [dB(A)], exercée sur le tympan de l'oreille. Résultat : une diminution du bruit ambiant. La normalisation en vigueur [voir p. 21] fournit une classification des écrans en fonction de leurs performances. Elle a retenu quatre catégories allant de A1 [gain de 4 dB(A)] à A4 [gain de 11 dB(A)]. Les écrans absorbants en béton sont classés A3 et A4. Quand on sait que réduire le niveau sonore de 3 dB(A) revient en fait à le diviser par deux, leur efficacité est donc démontrée. Cette capacité acoustique est directement liée aux performances des divers bétons mis en œuvre pour leur construction.

"Les écrans préfabriqués en béton présentent une épaisseur courante comprise entre 13 et 25 cm", indique Paul Sauvage, responsable du département "réalisation des ouvrages" au Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton (Cerib). Soit 8 à 12 cm en structure et 5 à 13 cm en absorption. Avec une densité moyenne de 2,4 t/m³, le béton donne en plus à l'écran une masse surfacique élevée qui améliore d'autant son efficacité, en particulier au niveau de la transmission des ondes.

● Une affaire de spécialistes

Pour autant, la conception et la réalisation d'ouvrages de ce type ne sont pas à la portée du premier venu. Associer des bétons de bois légers et des bétons de masse classique – au retrait différent – est une affaire de spécialistes. Surtout quand il s'agit d'utiliser la

>>> 1 Outre leurs qualités acoustiques, les écrans offrent souvent un apport esthétique – avec une végétalisation, par exemple – qui les intègre mieux encore dans leur environnement.



TECHNIQUE

Paroles d'architecte

Charles Lavigne est réputé pour ses projets de ponts. Mais l'architecte intervient aussi dans l'exécution d'écrans acoustiques, *"suite logique et parfois complément des ouvrages de franchissement"*. L'exercice démarre en aval de l'étude acoustique, *"sans laquelle il est impossible de travailler. Elle dimensionne et caractérise l'ouvrage à réaliser."* Loin de freiner la créativité de l'architecte, elle constitue même la base de sa réflexion. *"Avec toutes les données en main, il devient possible de jouer sur les matières, sur les formes, sur les couleurs pour intégrer l'écran dans son environnement."* Ainsi, un dessin de cannelure peut être repensé ou *"transformé en quelque chose d'autre"* tant que le parement absorbant respecte les performances qui lui sont demandées. *"Mais la variante esthétique coûte plus cher que le modèle de base."*

Chaque projet impose une approche architecturale propre. Pour l'autoroute A3, où l'écran s'intègre dans un contexte très urbanisé, Charles Lavigne souhaitait *"créer un ouvrage qui rappelle un mur de clôture de maison individuelle"*. Là, la massivité des poteaux en béton, semblables à des éléments en maçonnerie, est rompue par un remplissage léger en béton de bois au motif classique. *"La face arrière de l'écran bénéficie d'un traitement esthétique en adéquation avec les souhaits des riverains."* Ainsi, les sections enveloppées de bois succèdent à d'autres revêtues d'un treillis. Des segments transparents fragmentent la ligne générale de l'écran. Pour cette réalisation, comme pour nombre d'autres, l'architecte est intervenu pendant la période de consultation du projet. *"Il arrive aussi très souvent que l'on intervienne de nouveau, une fois l'entreprise générale et le fournisseur de l'écran désignés. Cette seconde approche permet de caler le projet par rapport aux choix techniques finaux des intervenants mandatés."*



2



3

>>> 2 Très efficace, la cannelure reste la forme la plus utilisée pour la réalisation d'écrans acoustiques... 3 ... mais d'autres dessins sont parfaitement possibles, en fonction des critères acoustiques à respecter et de l'imagination des architectes. (Réalisation à Montauban.)

technique du "béton frais sur béton frais". La mise au point de textures en mesure de neutraliser les ondes sonores s'inscrit dans la même logique. Ainsi, un dessin donné peut être développé spécifiquement pour réduire une fréquence particulière. Une entrée de zone industrielle, davantage fréquentée par les poids lourds, ne sera pas traitée de la même manière, c'est-à-dire avec le même produit, qu'un circuit de course automobile, et l'intérieur d'un tunnel routier ne recevra pas le même parement absorbant qu'un écran implanté le long d'une voie ferrée.

● Amélioration permanente

Les industriels du béton spécialisés dans la préfabrication d'écrans acoustiques absorbants perfectionnent sans cesse leurs procédés de fabrication. L'objectif est de créer des surfaces absorbantes toujours plus résistantes au plan mécanique sans nuire à leurs performances acoustiques. *"Nous sommes passé d'une résistance moyenne de 2 à 3 MPa au niveau de la surface absorbante à 4 MPa aujourd'hui"*, souligne Thierry

Cézard. Et ce, pour un rendement phonique équivalent. La technique de préfabrication permet la production de parements acoustiques seuls, sans support rigide en béton armé. Cette possibilité étend les champs d'application du béton en acoustique et autorise par exemple la transformation d'écrans réfléchissants en écrans absorbants dans le cadre d'opérations de réhabilitation. L'approche permet aussi d'aménager de nouvelles zones antibruit en fixant des parements acoustiques sur des supports non prévus à cet effet au départ (comme les piédroits à l'intérieur des tunnels).

La recherche des industriels se place aussi au niveau des matières premières. Les essences de bois utilisées sont sélectionnées et traitées contre toutes les agressions (insectes, champignons, humidité...). *"Ce sont des matériels nobles préparés autour de cahiers des charges précis"*, insiste Thierry Cézard. D'autres produits comme les billes d'argile ou certaines roches volcaniques (pouzzolanes) permettent aussi la fabrication d'écrans acoustiques. La montée en résistance des parements absorbants tout comme la sélection rigoureuse des matières premières vont dans le sens de la pérennité des dispositifs antibruit. Une pérennité déjà

TECHNIQUE

Quatre phénomènes acoustiques

Lors de l'émission d'un bruit, l'onde sonore se propage dans toutes les directions. L'interposition d'un écran acoustique sur sa trajectoire modifie la nature de l'onde qui est susceptible d'atteindre le récepteur (une habitation par exemple). Dans cette situation, l'écran perturbe le signal sonore par le jeu de différents phénomènes acoustiques.

La réflexion constitue le premier d'entre eux. En fait, lorsque l'onde rencontre l'écran, elle se réfléchit sur lui et repart dans la direction opposée. Cette énergie renvoyée peut se révéler indésirable, jusqu'à produire une élévation du niveau sonore pour des récepteurs non protégés et déjà soumis à une onde sonore directe. L'utilisation de matériaux adaptés permet de réduire la quantité d'énergie réfléchie.

L'absorption. Les écrans acoustiques modernes mettent en œuvre cette technologie. Dans le cas des écrans en béton préfabriqué, la partie absorbante est le plus souvent constituée de béton de bois ou de béton léger (à base de granulats d'argile expansée ou de roches volcaniques). Le niveau d'absorption est égal à plusieurs décibels pour les plus efficaces.

La transmission est la quantité d'énergie sonore qui traverse l'écran acoustique. De fait, plus l'écran sera massif, meilleure sera sa capacité à réduire la transmission. Avec une densité de 2,4 t/m³, le béton assure un excellent rendement même à faible épaisseur.

La diffraction constitue le dernier phénomène. Elle se produit quand l'onde sonore rencontre les arêtes de l'écran (le couronnement en général). Le niveau d'atténuation par diffraction est proportionnel à la différence de marche imposée par l'écran. Autrement dit, l'écart de distance entre le trajet direct (sans écran) et le trajet diffracté, qui dépend de l'implantation et de la hauteur de l'écran, de ses caractéristiques géométriques et de la nature des matériaux du couronnement.



acquise de longue date de par l'utilisation même du béton. L'insensibilité de ces ouvrages de génie civil au vent, à la pluie, aux agents corrosifs dus à la pollution, confirme cette tenue dans le temps tout en garantissant les caractéristiques acoustiques obtenues au départ.

● "Environnementalement correct"

Le béton permet d'inscrire les écrans acoustiques dans une démarche esthétique évidente. Il autorise tous les traitements architecturaux, tant au niveau des faces "riverains" que des faces exposées au bruit. Le béton de structure (face arrière de l'écran) peut être brut de décoffrage, désactivé, sablé, acidé, poli, teinté, habillé, matricé... Quant au parement absorbant, il peut présenter différentes textures, en fonction des bruits à traiter, ou être teinté dans la masse. L'intégration de faux joints, horizontaux ou verticaux, peut ajouter une touche esthétique supplémentaire.

La réponse "béton" pour la conception d'écrans acoustiques constitue une solution économique. Le matériau rend possible la réalisation d'éléments de grandes dimensions qui peuvent être mis en œuvre en un minimum de temps. Les techniques de préfabrication sont optimisées et éprouvées, gage de régularité dans la production. Les opérations de pose permettent le maintien du trafic, sans travaux de nuit, à toute époque de l'année et en toute sécurité. Donc sans surcoût. Les écrans en béton sont "environnementalement corrects". Leur esthétique permet de les intégrer dans tous les milieux. D'autant plus que le béton, inerte, reste sans danger au plan écologique. Les matières premières dont il est fait sont naturelles. Et elles sont recyclables à 100%. Une construction naturelle qui limite les nuisances, en résumé. ■

TEXTE: ANTOINE VAVEL

PHOTOS: DR

>>> 4 L'esthétique représente le seul côté visuel d'un écran. Pourtant, ce sont les aspects invisibles – pérennité et efficacité en tête – qui constituent la véritable réponse aux problèmes de bruit.

TECHNIQUE

Cimbéton et le CIDB

En 2004, Cimbéton et le Centre d'information et de documentation sur le bruit (CIDB) reconduisent leur partenariat pour la troisième année consécutive. "Au travers de cet accord, Cimbéton participe de manière active aux différentes manifestations que nous organisons ou auxquelles nous participons, explique Alice Debonnet-Lambert, présidente du CIDB. Dans ce cadre, Cimbéton œuvre à une meilleure connaissance des solutions béton en matière d'écrans acoustiques." Ce fut le cas lors du salon TP Tech. La participation de Cimbéton est aussi intellectuelle: "Cimbéton est présent dans les publications *Échos Bruit et Acoustique et Techniques que nous éditons*", poursuit Alice Debonnet-Lambert. Enfin, l'organisme est référencé dans l'annuaire du CIDB, "qui recense tous les acteurs de l'environnement sonore".

→ Réglementation, normalisation : un cadre européen pour les dispositifs antibruit

Différentes normes et recommandations encadrent les écrans acoustiques – et plus largement l'ensemble des dispositifs de réduction du bruit – tant au niveau de leur réalisation que de leur utilisation ou des matériaux qui les composent. Depuis 1997, ce contexte réglementaire évolue vers un référentiel européen.

Aujourd'hui, pour tout projet inscrit dans le cadre d'un marché public, il est nécessaire de faire référence à la norme européenne EN 1793 et à la norme nationale NFS 31 089. La première se décline en cinq parties dont trois sont déjà appliquées. Ainsi, la partie 1 caractérise l'absorption acoustique alors que la partie 2 définit l'isolation aux bruits aériens (elle concerne tous les écrans). La partie 3 aborde la spécification du spectre

sonore de la circulation. Enfin, les parties 4 et 5, publiées à titre expérimental, s'intéressent à la "mesure in situ de la diffraction" et à la "mesure in situ de l'absorption et de la transmission". En fait, la partie 5 remplacera l'actuelle norme NF S 31 089 qui détermine les caractéristiques intrinsèques des écrans installés in situ. La partie 4 est une mesure qui n'existait pas sous la forme d'une norme.

À côté de ces deux normes incontournables, la norme européenne EN 1794-1 et 2 se concentre sur les caractéristiques non acoustiques des écrans, c'est-à-dire sur leurs performances mécaniques, sur la sécurité des usagers et sur leur influence sur l'environnement immédiat. Enfin, deux nouvelles normes européennes sont aujourd'hui en préparation. La Pr EN 14 388 – Dis-

positifs de réduction du bruit du trafic routier/Spécifications doit en quelque sorte chapeauter toutes les autres normes et prévoit la mise en place du marquage CE. Quant à la Pr EN 14 389-1 et 2, elle établira les performances acoustiques et non acoustiques des dispositifs de réduction du bruit à long terme. Autrement dit leur durabilité.

En parallèle, une norme spécifique "écrans en béton" est en préparation. D'application volontaire, elle complètera les spécifications de la EN 1794. De manière concrète, cette norme précisera les critères techniques à respecter (régularité dimensionnelle, qualité de production, etc.) lors de la fabrication d'écrans en béton. Elle pourrait, de plus, être diffusée dans le cadre d'une future marque NF... ■

RN124 – COLOMIERS

→ Deux murs à double isolation

La RN 124, dite "route d'Auch", traverse le sud de Colomiers, commune située dans le département de la Haute-Garonne. De part et d'autre, deux voies de circulation secondaires permettent la desserte locale des zones d'habitation qui bordent cet ensemble routier. Afin d'atténuer les nuisances sonores consécutives à la circulation automobile incessante, la DDE 31 a fait construire un mur antibruit d'une épaisseur de 46 cm de chaque côté de la route nationale, le long des voies de desserte. La particularité du dispositif : posséder un parement d'absorption des ondes sonores sur les deux faces de l'écran. Un exemple presque unique en France. Ainsi, le même dessin – des troncs de cône en négatif de 11 cm de diamètre pour une profondeur de 14 cm, disposés de manière régulière – apparaît des deux côtés. La structure absorbante présente une épaisseur globale de 19 cm. C'est l'agence d'architecture Yves Faup-Frédéric Zirk qui a signé le design général de l'ouvrage, dont la réalisation a été

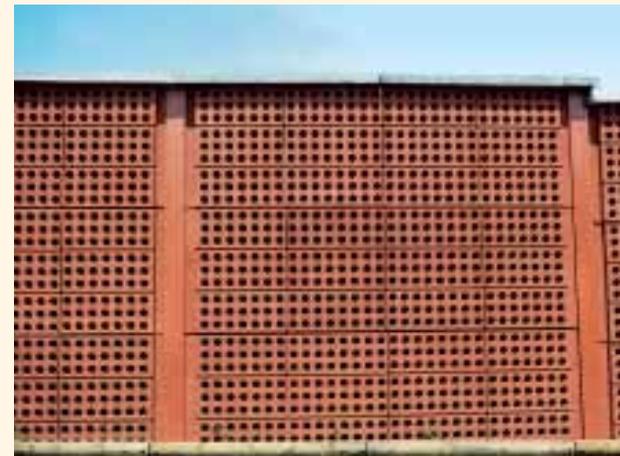
confiée à la société BRS. La préfabrication de l'écran revient à Béton Bois Système (groupe BMI).

Les panneaux absorbants sont préfabriqués sur la base d'un béton de bois teinté dans la masse en rouge à l'aide de pigments minéraux. Chaque élément présente une longueur de 5 m pour 1,50 m de haut. Tous les 50 cm, un faux joint horizontal est gravé dans l'élément.

Le projet intégrant des parois existantes, BBS a fabriqué pour leur habillage des dalles absorbantes spécifiques carrées de 1,50 m de côté, d'une épaisseur de 19 cm et d'une forme identique à celle des murs. Ces dalles sont fixées de façon mécanique sur leur support.

L'ensemble des deux murs développe une surface d'environ 3300 m², les hauteurs unitaires pouvant atteindre 5 m. Des poteaux métalliques de type HEA constituent l'ossature porteuse. Ces éléments, implantés tous les 5 m, sont intégrés dans l'épaisseur du mur, et masqués côté route nationale par le complexe absorbant, jointif au droit des poteaux. Ils restent apparents sur les faces arrière mais ne forment pas de relief sur le nu du mur.

La partie supérieure du mur est rehaussée d'un couronnement longitudinal. Cet élément permet de dif-



fracter l'énergie sonore. Pour en augmenter l'efficacité, l'élément est préfabriqué en béton de bois, comme les panneaux absorbants. Ce qui permet d'améliorer le rendement acoustique global de cet écran particulier.

PHOTO : BBS

Maître d'œuvre : DDE 31

Architectes : Yves Faup et Frédéric Zirk

Entreprise : BRS

Préfabricant : BBS



Les panneaux sont monoblocs et intègrent le soubassement pour l'essentiel de la réalisation. Seules, les deux sections les plus hautes (4,50 m et 5 m, soit 930 m d'écran) ont été scindées en deux morceaux superposables afin de respecter le gabarit routier. Une des particularités de l'écran est de posséder des poteaux porteurs en béton armé (sur quatre des six sections). Ces derniers, d'un diamètre de 60 cm, sont laissés apparents, les panneaux venant s'inscrire à l'intérieur de réservations prévues à cet effet. Des poteaux métalliques classiques constituent l'ossature des deux segments complémentaires. Enfin, un couronnement vient coiffer la tête des voiles acoustiques. Ces éléments, en béton de bois, présentent une longueur unitaire de 4 m. Ils sont fixés par boulonnage au béton armé des voiles porteurs.

PHOTOS : CAPREMIB

Maître d'œuvre : DDE 93

Architecte : Charles Lavigne

Entreprises : Sysa (mandataire), Quillery, Razel

Préfabricant : Capremib

AUTOROUTE A3 – SEINE-SAINT-DENIS

→ Six écrans aux abords de la capitale

Ce sont d'abord les dimensions de l'ouvrage qui impressionnent : quelque 9 000 m² pour une longueur cumulée de 2 150 m. L'écran est divisé en six tronçons, construits de part et d'autre de l'autoroute A3, sur les communes de Montreuil-sous-Bois et de Romainville, en Seine-Saint-Denis. Les hauteurs oscillent entre 3 m et 5 m. Charles Lavigne est l'au-

teur de l'architecture générale de l'écran tandis que Capremib en a assuré la préfabrication. Quelle que soit sa section, l'ouvrage est conçu selon un même principe : l'entraxe des poteaux est de 4 m, la hauteur du soubassement est de 66 cm pour une épaisseur de 25 cm, tandis que la structure béton armé des panneaux atteint 12 cm, un couronnement cylindrique surmontant l'ensemble.

La partie absorbante de l'écran est constituée de béton de bois sur une épaisseur totale de 18,8 cm. Elle décrit une onde sinusoïdale (cannelures) d'une hauteur de 12,8 cm.

AUTOROUTE A8 – CAGNES-SUR-MER

→ L'antibruit "ultra-light"

Un poids de l'ordre de 120 kg/m² contre 280 à 320 kg/m² pour un écran classique, telle est la principale caractéristique du nouvel écran acoustique mis en place à Cagnes-sur-Mer, sur un viaduc de l'autoroute A8. Le secret ? Le remplacement des traditionnelles âmes en béton armé par des caissons métalliques en acier nervuré laqué, ouverts sur la face exposée à la circulation. "C'est ce poids réduit qui a permis l'installation de l'écran sur le viaduc", explique Georges Innocenti, responsable "bruit" chez Escota, maître d'ouvrage de l'opération. L'ouvrage qui surplombe la gare SNCF, construit il y a trente ans, n'avait pas été prévu pour supporter le surpoids d'un écran acoustique. Béton Bois Système,

division de l'entreprise Béton Moulé Industriel, est à l'origine du concept. Gérard Garcia, responsable de la division, explique : "Les panneaux phoniques, en béton de bois poreux, sont installés dans les caissons métalliques. D'une épaisseur de 15 cm dans ce cas particulier, ils offrent des performances remarquables en réduction de la propagation du bruit et en absorption acoustique." Ces murs allégés, de 2 m de haut, sont mis en œuvre sur les poteaux en L. Ce dispositif autorise un ancrage sur le tablier du viaduc et non sur sa rive, comme pratiqué traditionnellement. Un avantage appréciable pour les ouvrages anciens et une meilleure garantie de pérennité.

PHOTO : BBS

Maître d'œuvre : Paul Vollin Ingénierie

Maître d'ouvrage : Escota

Entreprise : Eurovia Alpes/Locatelli

Préfabricant : BBS



AUTOROUTE A4 – CHARENTON-LE-PONT

→ L'A4 apprivoisée

À quelques kilomètres de Paris, un tout nouvel écran acoustique, réparti en deux sections de 1,5 km, encadre l'autoroute A4. Il remplace d'anciens écrans réfléchissants qui n'étaient plus en adéquation avec les contraintes urbaines actuelles. *"Ce mur est pourvu d'un revêtement réalisé en béton de bois dont la texture assure un excellent niveau d'absorption sonore"*, indique Thierry Cézard, directeur général de l'entreprise de préfabrication Capremib. La matrice utilisée, exclusive, décrit une onde.

La technique "béton frais sur béton frais" permet la réalisation des panneaux acoustiques. Elle voit le coulage successif de la matrice phonique puis du béton de structure une fois les armatures en place. *"Les panneaux, superposables, présentent des dimensions de 5 m de long par 2 m ou 3 m de haut"*, poursuit Thierry Cézard. Un soubassement intégré équipe les éléments inférieurs, tandis que ceux placés en haut voient l'intégration d'un dispositif anti-diffraction appelé couronnement. Ce dernier est tantôt cylindrique, tantôt rectangulaire, selon le calepinage de l'architecte (cabinet Lassus et Associés). Le procédé Iso Top, développé par Capremib et mis en œuvre sur les panneaux, permet l'habillage des poteaux métalliques porteurs. En fait, les panneaux en béton enserrant l'ossature porteuse, rendue invisible. *"Le coût d'entretien sur les poteaux est réduit, l'efficacité acoustique accrue, et l'ensemble est plus esthétique"*, résume Thierry Cézard. En parallèle, les profilés métalliques sont garants de la reprise des efforts dus au vent et au souffle sur les travées en béton de 5 m d'entraxe. Un choix d'autant plus important que les murs présentent une hauteur de 6 à 8 m pour une surface cumulée de 20 000 m². L'esthétique était un autre point important du chantier. Côté circulation, l'architecte a opté pour deux teintes de vert afin d'adapter la réverbération de la lumière entre les surfaces planes et ondulées. Côté riverains, les panneaux en béton ont aussi été peints en deux couleurs. Un aménagement paysager complète ce site rythmé par la succession de platanes centenaires...

PHOTOS : CAPREMIB

Maître d'œuvre : DDE 94

Architecte : Cabinet Lassus et Associés

Entreprise : Eiffage

Fabricant : Capremib



AUTOROUTE A104 – ESSONNE

→ Un mur de soutènement acoustique

Dans le sud de la région parisienne, la chaussée Est de la Francilienne (A104) est devenue plus discrète. Un complexe acoustique y contribue largement depuis quelques mois. L'ouvrage principal consiste en un mur de soutènement habillé d'un parement phonique absorbant, et en partie surmonté d'un écran acoustique. Plusieurs écrans secondaires, implantés sur une bretelle d'accès et au pied d'un pylône EDF, complètent le dispositif. Un couronnement en béton de bois coiffe les écrans comme le mur.

La partie "antibruit" du mur de soutènement est constituée de dallettes en béton de bois de 50 cm de côté et d'un poids unitaire de 26 kg, donc transportables sans engin mécanique. Mais des versions en 90x90 cm, voire 90x180 cm, ont aussi été réalisées pour optimiser la pose. Les écrans acoustiques autoportants sont composés d'une ossature en béton armé désactivé de 8 cm d'épaisseur surmontée d'une couche absorbante en béton de bois. Pour ces éléments, Capremib, qui préfabrique l'ensemble du dispositif, a mis en œuvre son procédé Iso Top,



qui permet un recouvrement des poteaux métalliques et les rend invisibles. Cette approche technique augmente le rendement acoustique de l'écran tout en protégeant la structure métallique.

PHOTO : CAPREMIB

Maître d'œuvre : DDE 91

Maître d'ouvrage : ministère de l'Équipement

Entreprise : BEC

Préfabricant : Capremib

AUTOROUTE A62 – TOULOUSE

→ Du naturel vers l'urbain

L'A62 constitue une des entrées principales de la ville de Toulouse. Pour en appuyer le caractère, l'architecte Anouk Debarre (Atelier R.) a conçu un écran acoustique qui matérialise le passage du milieu rural vers le milieu urbain. Sur 6 km, trois séquences d'écrans se succèdent. D'abord simple, la ligne s'enrichit et se transforme en une sorte d'avenue bordée de murs d'enceinte et de portails. Les merlons paysagers qui entrecoupent l'écran s'espacent avant de disparaître. Teintés dans la masse, les panneaux absorbants adoptent le rose, couleur symbole de la ville. Au départ, ils disposent de nombreuses cannelures horizontales et d'une petite casquette. Puis les cannelures deviennent plus larges, permettant l'incorporation de briquettes. La casquette s'affirme, passant de 61 à 110 cm de large, avant d'être convertie en un véritable couronnement. Aux abords de la cité, l'écran s'incline de 10°, tel un rempart de château fort. Il passe pro-

gressivement à une hauteur de 6 m. Disposées en haut du mur, les cannelures sont devenues fines, leur pas, très large. La partie inférieure devient sous-bassement, incrusté de tablettes arrondies.

Tout au long des 6 km, la face arrière offre l'aspect d'un badigeon artisanal obtenu par une finition talochée main. Quelque 9 000 m² de panneaux acoustiques constituent l'écran. Sortis des unités de production Sud Prefac (groupe Bonna Sabla), ils présentent une épaisseur moyenne de 25 cm : 10 cm de béton de structure et 15 cm de revêtement absorbant. Ce dernier est constitué d'un béton de pouzzolane et d'argile expansée et dépourvu de sable. Enfin, 1 200 m² de plaques acoustiques complètent le dispositif en permettant le traitement d'un ancien mur conservé par ASF, maître d'ouvrage de l'opération.

PHOTOS : DR

Maître d'œuvre : Scetauroute Centre-Sud-Ouest

Maître d'ouvrage : ASF

Architecte : Anouk Debarre

Entreprises : Razel (mandataire), Nicoletti, Sotramines

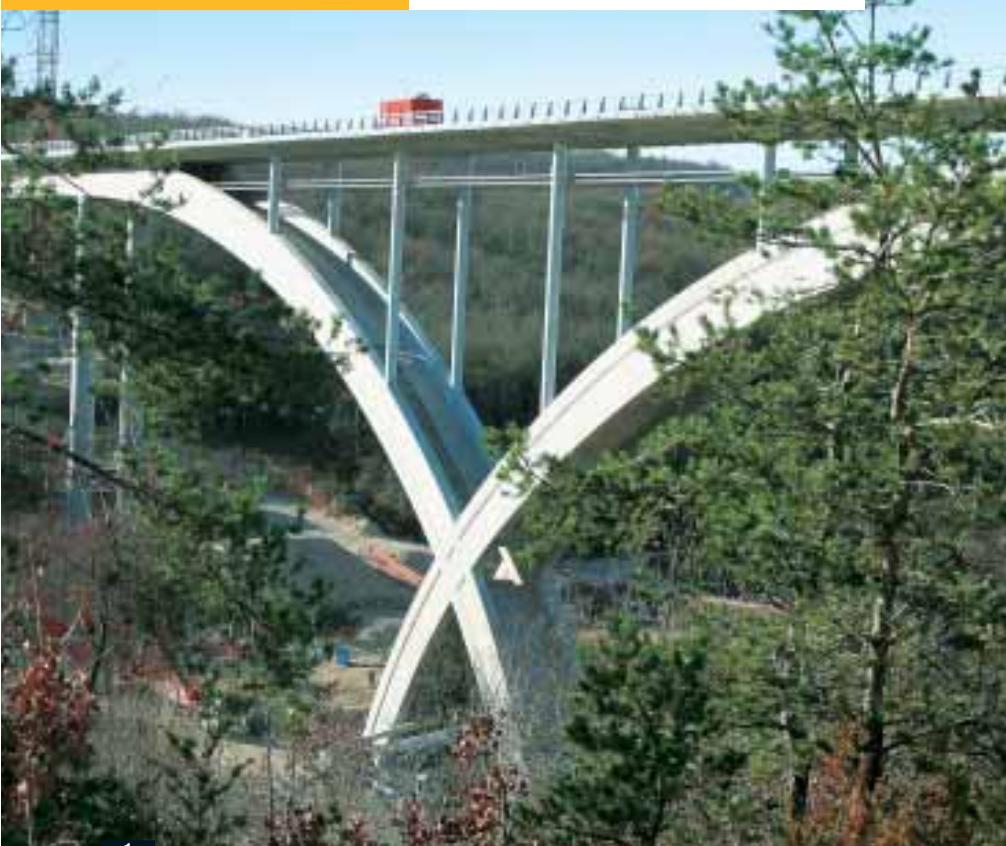
Préfabricant : Sud Prefac



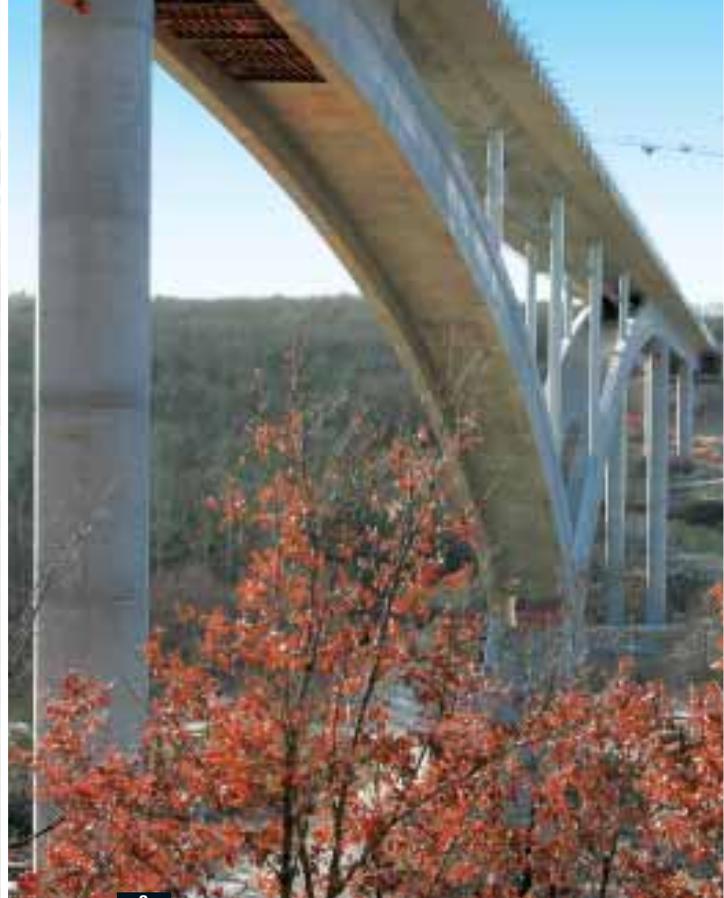


Pour la beauté du geste architectural

●●● OUVRAGE UNIQUE, RÉALISÉ DE FAÇON MAGISTRALE, LE VIADUC DE LA VALLÉE DE L'ANGUIENNE EST L'UN DES PLUS IMPORTANTS OUVRAGES D'ART JAMAIS ÉDIFIÉS EN CHARENTE. ET L'UN DES PLUS ÉTONNANTS DANS SON GENRE. LE CAHIER DES CHARGES, PAR EXEMPLE, DEMANDAIT À CHAQUE GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE DE PRÉSENTER TROIS SOLUTIONS QUALIFIÉES D'“ÉCONOMIQUE”, D'“INTERMÉDIAIRE” ET D'“ARCHITECTURALE”. C'EST CETTE DERNIÈRE QUI FUT RETENUE. POUR LE PLUS GRAND PROFIT D'UN SITE PARTICULIÈREMENT SENSIBLE SUR LE PLAN ÉCOLOGIQUE, OÙ FAUNE, FLORE ET PÂTURAGES EXIGEAIENT UNE ATTENTION SOIGNEUSE DE LA PART DES CONCEPTEURS.



1



2

Deux “demi-arcs” croisés jaillissant d’un plan d’eau au fond de la vallée se déploient horizontalement jusqu’à épouser les deux versants distants de 400 m. Ce grand mouvement ample et suspendu n’est pas sans évoquer la courbure des ailes des chauves-souris qui occupent les grottes alentour. Qu’il soit fortuit ou délibéré, ce clin d’œil est révélateur de l’attention portée au lieu par l’architecte Charles Lavigne. Lancé en mars 1999 par le conseil général de Charente, le concours pour un ouvrage d’art franchissant la vallée de l’Anguienne, petit

cours d’eau sinuant entre les tourbières et se confondant avec les nombreux plans d’eau, révélait le souhait du maître d’ouvrage de se doter d’un viaduc sortant de l’ordinaire.

● Contexte singulier et écosystème sensible

Pièce maîtresse du contournement Est d’Angoulême d’où il est visible depuis les remparts de la ville haute et de l’hôtel du département, le viaduc de l’Anguienne, qui sera achevé au début de l’année 2004, s’inscrit dans un contexte à la fois singulier et sensible sur le plan écologique. Outre les multiples espèces de vampires précédemment évoquées, de nombreux oiseaux nichent dans les escarpements rocheux émergeant des versants boisés riches en gibier – une population et un habitat qu’il était impératif de préserver. Des recommandations identiques avaient été adressées par la maîtrise d’ouvrage pour sauvegarder le milieu très fragile en contrebas, constitué par des zones de marais, riches d’une faune et d’une flore très particulières, alternant avec de paisibles pâturages. Un endroit très apprécié pendant le week-end par les adeptes du grand air.

CHIFFRES CLÉS

- Longueur totale : 400 m.
- Travée la plus longue : 195 m.
- Largeur du tablier : 11 m.
- Épaisseur du tablier : 0,9 m.
- Hauteur des piles : 16 à 40 m.
- Diamètre des piles : 2,40 m.
- Bétons : 9 000 m³.
- Coffrages : 16 000 m².
- Armatures de précontrainte : 200 t.

➤➤➤ **1** et **2** Atypique de par son principe structurel, le viaduc de l’Anguienne offre une architecture à la fois originale et respectueuse de l’environnement. **3** L’ouvrage prend naissance dans un plan d’eau recréé en fond de vallée, pour se déployer de part et d’autre sur une distance de 400 m. **4** Des câbles de précontrainte extérieure secondent d’autres câbles intégrés au tablier, nécessaires pour reprendre les efforts de traction.

La particularité du cahier des charges a été de demander à chaque groupement de maîtrise d’œuvre de présenter trois solutions, respectivement intitulées “économique”, “intermédiaire” et “architecturale”. C’est finalement cette dernière qui a été retenue au sein des propositions faites par le groupement Ingérop, Safège et Lavigne.

● Un geste spectaculaire et pertinent

“Le principe d’un double arc croisé, grand geste architectural faisant écho au fond plat de la vallée, encadré par des flancs abruptes, et qui vient atterrir en douceur de part et d’autre sur les hauts plateaux, a séduit le jury, explique l’architecte Charles Lavigne. Bien que résolument spectaculaire, ce choix était pertinent dans le cadre de la vallée de

l’Anguienne.” Les raisons ? L’approche sensible de “l’ambiance” du site, les lignes douces du paysage et le caractère naturel des lieux plaidaient pour des formes arrondies. Cependant, un arc unique n’avait pas lieu d’être puisqu’il était possible d’implanter des appuis dans la partie centrale de la vallée. L’absence de tout besoin de grande portée a logiquement débouché sur cette double structure se croisant au tiers de la hauteur de l’ouvrage (40 m). Autre avantage : la simplicité d’une telle configuration était compatible avec la perspective d’un doublement du viaduc à terme compte tenu des prévisions de croissance du trafic routier. Une contrainte qui excluait toute superstructure au-dessus du tablier – haubans, bow-string ou poutre-treillis –, dont la juxtaposition en deuxième phase aurait compliqué, voire brouillé l’image et la lecture des édifices.



3

4

Ce parti pris de transparence a également orienté la conception du tablier vers un ouvrage très fin et aérien (dalle de 90 cm d'épaisseur), mais entraînant l'obligation de points d'appui relativement rapprochés (tous les 30 m). Si le tablier est directement au contact des prolongements horizontaux des demi-arcs sur une distance cumulée de 205 m,

la partie centrale a nécessité la présence de quatre paires de pilettes de faible diamètre. Avantage : ces colonnes en béton d'une grande discrétion s'érigent à partir des arcs, sans ancrages supplémentaires au sol. Ainsi, le viaduc ne compte que cinq groupes d'appuis, huit piles en béton de 16 à 36 m de hauteur jumelées deux à deux, plus les deux appuis cen-

traux en pied d'arc, solidarisés par un massif de fondation commun. *"Le choix du béton s'imposait pour les arcs à cause de leur échelle, reprend Charles Lavigne. Pour le tablier, on aurait pu envisager d'autres solutions, mais il est apparu plus logique d'employer le même matériau, ne serait-ce que pour une question d'homogénéité."* Point

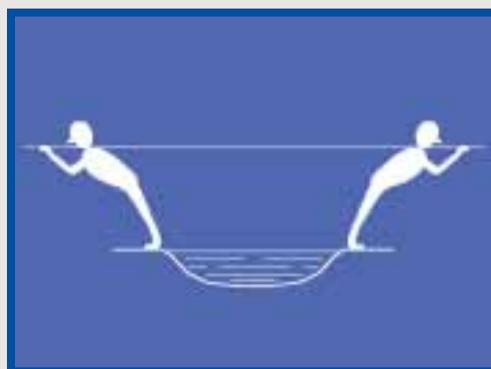
important à souligner et qui concourt à la légèreté de l'édifice : le tablier semble en lévitation au-dessus des arcs porteurs, grâce à l'ombre portée qui les découple visuellement.

L'originalité structurelle de l'ouvrage se traduit par un fonctionnement statique très particulier. *"Le problème réside dans la façon de reprendre la poussée des*

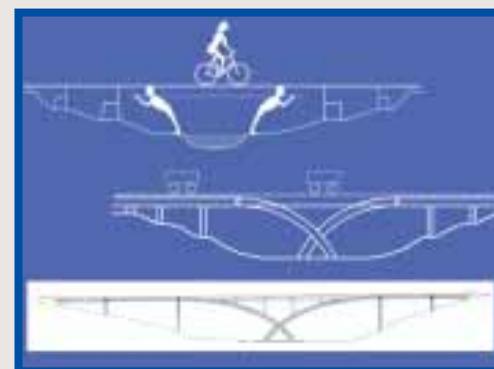
III Principe d'un arc atypique



- Un arc "classique" est funiculaire des charges et les reporte par "poussée" à ses fondations.
- Le "réglage" s'obtient par contrôle des efforts à la "clé".

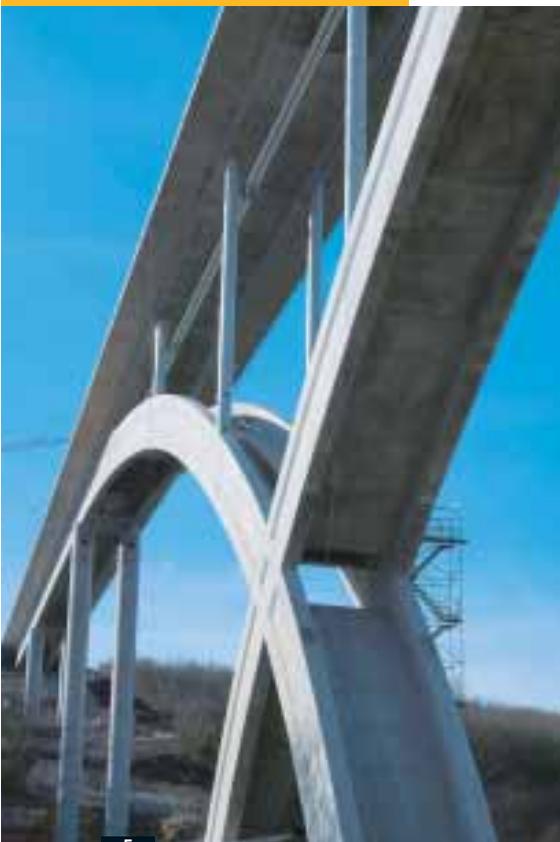


- Ici les deux "demi-arcs" sont dos à dos.
- Les fondations sont proches l'une de l'autre.
- Mais les clés doivent être reliées par un tirant aérien.
- Il faut y ajouter un support des charges routières...
- ... et introduire une rigidité "longitudinale" dans ce tirant aérien.



- Sans oublier de se raccorder techniquement et esthétiquement aux travées d'approche.
- Autant de considérations qui "modèlent" directement la forme de l'ouvrage.

Dessins : Yves Maury, Ingérop, directeur technique infrastructures.



5



6

TECHNIQUE

Une association de structures classiques

Malgré un fonctionnement statique atypique, le viaduc de l'Anguienne s'appuie sur des structures classiques : l'arc en béton armé, la dalle en béton précontraint et le bipoutre en béton précontraint. *“Nous maîtrisons bien ces trois principes structurels, explique Gunter Diebler. En revanche, leur assemblage est inédit.”* Bilan : des travaux de conception qui ont mobilisé le bureau d'études pendant plus d'une année. *“Les études sont compliquées en grande partie à cause du phasage des travaux, et notamment les calculs de redistribution des efforts de fluage du béton, ajoute Gunter Diebler. Aussi le niveau de sophistication est-il comparable à celui d'un pont construit par encorbellement.”*

arcs en partie haute, les arcs ne retombant pas au sol, explique Gunter Diebler, ingénieur en chef chez Ingérop et responsable de la maîtrise d'œuvre. Plutôt que de transmettre aux culées des efforts horizontaux dont la stabilité n'était pas garantie à long terme compte tenu des risques de tassement au niveau des appuis, nous avons équilibré l'ouvrage non pas en compression, mais en traction, grâce au tablier, renforcé par une précontrainte longitudinale dimensionnée en conséquence. “Ainsi, la pous-

sée d'un demi-arc en tête est contrebalancée par la poussée de l'autre, à 195 m de distance. Ce principe a été également appliqué à l'appui central, les deux pieds d'arc étant retenus par un tirant horizontal constitué par un massif en béton fortement armé et précontraint. Une liaison voulue le plus rigide possible afin de “fermer” structurellement le “triangle” de base de la structure, l'encastrement au niveau du croisement des arcs ne tolérant absolument aucun mouvement.

Reste que ce schéma a dû être légèrement révisé après le concours. *“Il est apparu, lors du calcul réalisé pour l'avant-projet sommaire, que le décalage vertical entre le tablier et le centre de gravité ‘structurel’ des arcs pouvait leur communiquer des efforts de décentrement, poursuit l'ingénieur. C'est pourquoi un deuxième plan de précontrainte a été rapporté 2,40 m en dessous du tablier, réalisé à l'aide de deux paires de gros tirants parallèles à la dalle.”* Ces dispositifs, stabilisés par des liaisons antivibratiles aux pilettes, s'avèrent peu visibles, et ne nuisent donc pas à l'esthétique du projet. *“Finalement, la présence de câbles aériens a été bien acceptée par la maîtrise d'ouvrage”,* précise Gunter Diebler.

● Réalisation sur cintres avec un plateau mobile

Une autre optimisation du projet a permis de diminuer la section transversale des arcs : le caisson tubulaire rectangulaire en béton de 6 m de large par 4 m de hauteur prévu à l'origine a cédé la place à un profil en H de même encombrement, avec des épaisseurs limitées (80 cm pour les nervures verticales et 20 cm seulement pour le voile horizontal

médian). Le bénéfice d'une section “ouverte” est double : une consommation moindre de matériaux de construction, mais aussi une meilleure adéquation à la technique de fabrication sur cintre général – et en particulier à l'endroit du croisement –, option retenue par le groupement vu le faible linéaire de l'ouvrage et la présence à faible profondeur, sous le terrain naturel, d'un substrat calcaire sur toute la longueur du pont, sur lequel il était aisé de s'appuyer. Très rigide, et peu sujette aux efforts de flexion en phase de fonctionnement, la structure en double arc croisé a toutefois nécessité un taux d'armatures relativement important au droit du croisement à cause du mode de construction sur cintres, en partant du cœur. *“Ces armatures sont nécessaires pendant la construction pour s'opposer aux déformations induites par le tassement des palées provisoires sur lesquelles s'appuient les coffrages”,* indique Fabrice Denis, responsable du chantier pour DV Construction.

Réaliser sur cintre un ouvrage d'une hauteur de 40 m ne va pas sans poser des difficultés. En outre, pour éviter d'avoir un coffrage continu sur toute la longueur des arcs, l'entreprise DV Construction a conçu un plateau de travail mobile



7

- >>> 5** Le profil en H des arcs allège l'ouvrage, tant physiquement que visuellement, et concourt à une économie de ressources en matériaux. **6** Pièce maîtresse du fonctionnement statique de l'ouvrage, le "chiasma", ou croisement des deux arcs, est renforcé par un important taux d'armatures. **7** Le double arc croisé, ancré au sol et aux extrémités, s'appuie sur des piles en béton de 16 à 36 m de hauteur.

constitué de sept plates-formes articulées supportant l'outil de coffrage, qui permettait de couler trois tronçons de 6,50 m de long. Cet outillage de 110 t et 35 m de longueur a nécessité près de quatre mois de fabrication. Il présentait la particularité de pouvoir s'adapter au profil désiré, la courbure des arcs n'étant pas constante afin d'approcher la forme parabolique prévue par les concepteurs. "Les ouvrages présentent trois rayons de courbure différents, ce qui a compliqué la translation du plateau mobile au niveau des raccordements, poursuit Fabrice Denis. Chaque face de l'outil de coffrage pesait une dizaine de tonnes. Cet outillage est unique en son genre." DV Construction et son fournisseur ont tout mis en œuvre pour obtenir un très haut niveau de qualité des bétons : "Les parements sont extraordinaires, tant par leur homogénéité que par leur luminosité", assure Charles Lavigne. Ce résultat

a été engendré par de nombreux facteurs, à commencer par une formulation étudiée en conséquence. "Pour faire face aux exigences de régularité d'aspect, une formule unique a été utilisée pendant toute la durée du chantier, mais son taux d'adjuvants (superplastifiant notamment) a été modulé en fonction de l'évolution des conditions climatiques, explique Christian Navech, chargé d'études ouvrages d'art au CETE du Sud-Ouest et contrôleur du chantier. Et plutôt que de viser le niveau de résistance demandé (un B40), un B55 a été choisi pour laisser plus de latitude sur les autres paramètres." La qualité de réalisation tient également au suivi de la production de la centrale de chantier, concernant en priorité la plasticité du béton. "Nous avons besoin d'un béton le plus fluide possible pour permettre son pompage avec des mâts culminant à 54 m, reprend Fabrice Denis. En contrepartie, il fallait

éviter les phénomènes de ressuage et de variation de teinte." Conséquence, la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams a dû être maintenue en toute circonstance dans une fourchette très étroite, ne dépassant jamais les 20 cm, comme en témoigne le très faible écart-type (2,7).

● Collaboration exemplaire

Bien entendu, le soin apporté à la préparation et au réglage des coffrages ainsi qu'à la vibration des bétons a été déterminant. Une gageure, compte tenu du caractère extrême des conditions de mise en œuvre, comme l'explique le chef de chantier Sergio Moreira : "Couler du béton dans un coffrage incliné à 45°, avec des hauteurs de bétonnage de 7 m, et à 40 m du sol, a demandé aux opérateurs une rigueur et un professionnalisme exceptionnels." "La réussite du chantier tient à l'excellente collaboration entre les différents intervenants, conclut Christian Navech, très attaché à la mission de conseil sous-jacente au contrôle externe. Quand un problème apparaissait, nous nous mettions tous autour d'une table afin de trouver une solution." ■

TEXTE : JEAN-PHILIPPE BONDY

PHOTOS : PHILIPPE ZANDVLIET



Maître d'ouvrage :
conseil général de la Charente

Architectes :
Cabinet Charles Lavigne,
Alain Montois
et Christophe Chéron

Maître d'œuvre :
Groupement Ingérop
(mandataire), Safège,
C. Lavigne

Entreprise :
DV Construction

Contrôle externe :
CETE du Sud-Ouest
(LRPC de Bordeaux)

Coût :
10 M€ HT



Un nouveau pont pour construire l'Europe

●●● LE DOUZIÈME PONT ROUTIER SUR LE RHIN ENTRE LA FRANCE ET L'ALLEMAGNE EST EN SERVICE DEPUIS UN AN. AU DROIT DU CHENAL NAVIGABLE, LA TRAVÉE CENTRALE PRÉSENTE UNE LONGUEUR DE PLUS DE DEUX CENTS MÈTRES ENTRE APPUIS. UN RECORD EN FRANCE POUR UN TABLIER EXÉCUTÉ SELON LA TECHNIQUE DES ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS. TRANSFRONTALIER, LE PONT PIERRE-PFLIMLIN, DU NOM DE L'ANCIEN DÉPUTÉ-MAIRE DE STRASBOURG, A ÉTÉ RÉALISÉ SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE FRANÇAISE, CONFORMÉMENT AUX TERMES D'UN TRAITÉ BILATÉRAL SIGNÉ EN 1953 ENTRE LA FRANCE ET L'ALLEMAGNE. PORTRAIT D'UN OUVRAGE CLÉ.

CHIFFRES CLÉS

- **Longueur totale : 968 m.**
- **Pont principal : 457 m dont 205 m pour la travée centrale.**
- **Viaducs d'accès : 216 m (France) et 295 m (Allemagne).**
- **Tirant d'air : 7 m sous la travée centrale.**
- **Largeur du tablier : 14,75 m (2 voies de circulation).**
- **Bétons des fondations et des appuis : 11 000 m³.**
- **Bétons des tabliers : 13 000 m³ de BHP (B65).**
- **Armatures de précontrainte : 1 000 t.**
- **Armatures passives : 3 500 t.**

De Bâle à Karlsruhe, soit le long des 200 km de frontière franco-allemande sur le Rhin, il n'existe que onze ponts routiers. À Strasbourg, le pont de l'Europe constitue le seul franchissement au droit de l'agglomération. Cet ouvrage absorbe près de 25 % des échanges routiers entre l'Alsace et le Bade-Württemberg. Au nord, la première traversée se situe à 15 km, sur le barrage de Gamsheim, et au sud, à 25 km, sur le barrage de Gerstheim. C'est ce déséquilibre qui est à l'origine du nouveau pont sur le Rhin. L'ouvrage rend hommage à Pierre Pflimlin, homme d'État, député du Bas-Rhin et maire de Strasbourg. Implanté au niveau de la rocade sud de Strasbourg, le pont, aujourd'hui en service, permet de réduire les nuisances au cœur de la capitale alsacienne et de développer l'activité économique de la zone géographique. Du côté français, le

tracé retenu évite toute atteinte à la forêt rhénane. Côté allemand, la zone des polders et les milieux humides sont épargnés. Le dimensionnement du franchissement réduit l'impact sur l'environnement. La silhouette du tablier était d'ailleurs imposée, suite aux études techniques menées par le Setra. Mais l'architecte Philippe Fraleu est à l'origine des spécificités esthétiques.

● Record de France de portée pour ce type d'ouvrage

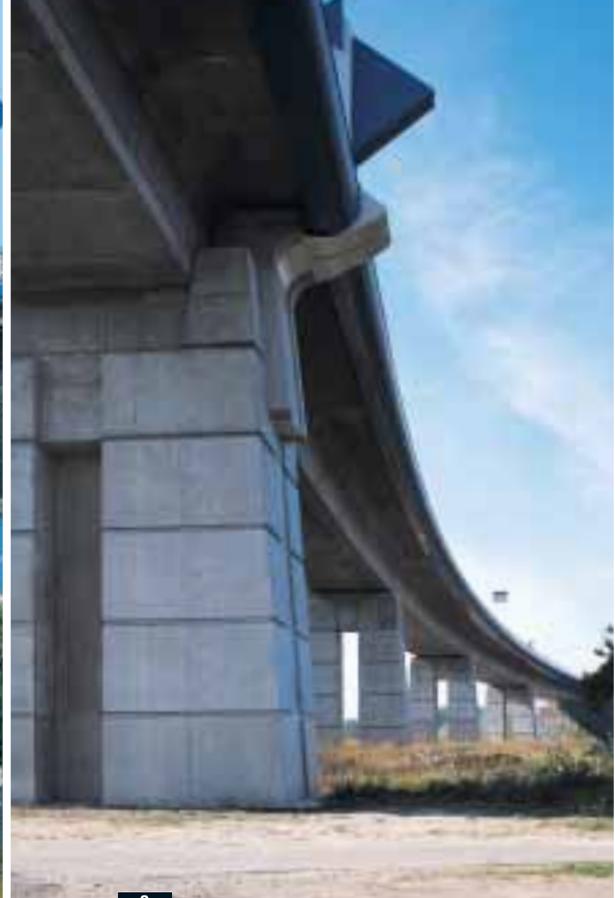
"Le pont Pierre-Pflimlin comprend trois ouvrages successifs, décrit Bernard Teutsch, adjoint au chef de projet DDE 67. Un pont principal de 457 m de long au-dessus du Rhin d'une part, et deux viaducs d'accès de 216 m et 295 m d'autre part." Comparé à une solution classique en remblai, le choix des viaducs limite l'effet de coupure, d'où une meilleure insertion dans le site.

L'ouvrage est construit en béton précontraint. Deux techniques différentes sont mises en œuvre. La méthode des encorbellements successifs permet l'édification du pont principal tandis que le poussage intervient pour les deux viaducs d'accès. *"Avec une travée centrale de 205 m de long, le pont Pierre-Pflimlin constitue le record de France de portée pour un ouvrage construit en encorbellements successifs",* relève Bernard Teutsch.

D'une largeur de 14,75 m, le tablier présente une hauteur variable allant de 9 m au niveau des deux piles en fleuve à 4,50 m en travée. L'épaisseur descend à 3,20 m sur les piles-culées, éléments de transition avec les viaducs d'accès. Quatre équipages mobiles identiques ont permis la construction de ce tablier. Leur présence au-dessus du Rhin devait être gérée de manière précise car la navigation fluviale a été maintenue pendant toute la durée du chantier. Une ges-



>>> **1** Au niveau du chenal navigable, le pont offre un tirant d'air de 7 m de haut sur 175 des 205 m de la travée centrale.



2

3

TECHNIQUE

Haubans, caissons ou ossature mixte ?

Pas moins de neuf structures ont été envisagées lors de l'étude préliminaire. Le pont haubané à deux mâts, apprécié pour des raisons esthétiques, mais mal adapté à une opération prévoyant un ouvrage à deux voies de circulation en tout. Le pont à haubans à mât unique avec tablier en béton ou tablier métallique, écarté en raison de son coût élevé. Les trois solutions de ponts à caisson composite "cantilever", qui font appel à deux techniques différentes, mais qui présentent un coût élevé. Le pont à caisson métallique, qui peut être construit par encorbellements successifs ou à partir de grands sous-ensembles acheminés par barges. La solution du pont à caisson en béton précontraint construit par encorbellements successifs, variante économiquement intéressante. Le pont à ossature mixte à poutre-treillis, enfin. Mais seules les trois dernières alternatives ont été envisagées dans le cadre de l'appel d'offres du pont Pierre-Pfimplin, la solution du pont à caisson en béton précontraint l'emportant finalement.

tion d'autant plus délicate que le tirant d'air est de 7 m maximum sur 175 des 205 m de la travée centrale. "Le chenal navigable avait une position variable en fonction de l'évolution des travaux, explique Bernard Teutsch. À une certaine période, il a même été séparé en deux." La réalisation par encorbellements successifs a imposé la mise en œuvre, après le coulage de chaque voussoir (de 3 m à 5,50 m), de câbles de précontrainte pro-

visoires. C'est ce dispositif qui assurait la tenue de l'ouvrage durant sa construction. Achevé, le tablier a reçu une précontrainte définitive extérieure. Les fléaux du tablier est et ouest, situés entre les piles en fleuve et les piles-culées, présentent une longueur plus importante qu'une demi-travée centrale (121 m et 131 m contre 102,50 m). Cette particularité a nécessité la mise en place de palées provisoires, érigées sur les berges.

- **2** Le pont principal se développe sur une longueur de 457 m divisée en trois travées. **3** Deux piles-culées reprennent les extrémités du tablier du pont principal. Leur aspect massif accentue la transition avec les viaducs d'accès. **4** De hauteur constante, les tabliers des viaducs d'accès sont réalisés par poussage. **5** Les appuis en fleuve doivent résister aux séismes et aux chocs avec des navires marchands. La complexité de chaque élément a nécessité près d'un mois de coffrage.

C'était la seule possibilité technique pour assurer sans risque la réalisation en "sur-encorbellement" des derniers mètres du tablier du pont principal.

● Un béton unique pour les parties précontraintes

Un BHP B 65 constitue l'unique béton des parties précontraintes. Sa formulation utilise un ciment CEM I 52,5CP2. Il a été choisi pour sa teneur très réduite en alcalins du fait de l'utilisation de granulats locaux suspectés d'être réactifs (niveau de prévention C, selon les recommandations du LCPC pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction). Le béton était fabriqué en France à environ 2 km du site, dans une centrale fixe appartenant à Béton Fehr, un bétonnier indépendant. "Pour assurer la livrai-

son du béton des deux côtés du fleuve, ce bétonnier a fait l'acquisition d'un bac capable de transporter deux toupies de 8 m³", explique Bernard Teutsch. Côté allemand, une estacade de 80 m de long permettait d'atteindre la pile en fleuve. Les toupies devaient juste rejoindre leur point de vidange en marche arrière. Les deux piles implantées dans le Rhin sont fondées sur une série de dix pieux de 1,80 m de diamètre descendant à une profondeur de 48 m sous la surface de l'eau. La profondeur du fleuve atteint environ 13 m et varie peu puisque le niveau d'eau est régulé. En revanche, le débit devait être surveillé car il est important et peut augmenter rapidement.

La partie des pieux directement dans l'eau est chemisée de tubes métalliques. Les semelles sont donc "perchées" sur



TRAITÉ BILATÉRAL

Maîtrise d'ouvrage "alternée"

La construction de tout ouvrage de franchissement sur le Rhin s'inscrit dans le cadre d'un traité franco-allemand établi le 10 juin 1953. L'acte précise que la maîtrise d'ouvrage est assurée à tour de rôle, que la limite territoriale se situe au milieu du pont et que les frais de construction et d'entretien sont partagés. La construction du pont Pierre-Pflimlin a fait l'objet d'un avenant signé le 5 juin 1996. Les dispositions fixaient les principales caractéristiques techniques du projet et confirmaient la maîtrise d'ouvrage française. L'ouvrage étant constitué d'un pont principal en fleuve et de deux viaducs d'accès, la partie d'accès implantée en territoire allemand reste sous maîtrise d'ouvrage allemande.

les pieux. Leur construction fait intervenir deux caissons préfabriqués en béton armé servant de coffrages perdus. Ces derniers ont la forme et les dimensions des semelles. Les caissons sont acheminés par flottaison jusqu'à leur emplacement définitif. Après solidarisation avec les pieux, ils sont armés puis remplis de béton – 1 000 m³ environ. Afin de limiter à 70 °C la température au cœur des semelles, le béton livré – un B30 – ne devait pas dépasser les 25 °C. En période chaude, les cuves des camions-malaxeurs, enveloppées d'un géotextile, étaient ainsi arrosées pour

refroidir leur chargement. Les appuis en fleuve sont dimensionnés pour résister aux séismes ainsi qu'aux chocs éventuels avec des navires marchands. Ceux qui circulent sur le Rhin, en effet, peuvent atteindre 20 000 t ! De fait, les piles enveloppent le tablier sur toute sa hauteur par l'intermédiaire de larges nervures latérales inclinées.

● Deux solides piles-culées

Les piles ont été coulées en une seule fois : une prestation de 24 heures avec la mise en œuvre de 445 m³ de béton

(B35 G+S). De part et d'autre du Rhin, deux piles-culées reprennent les extrémités du tablier du pont principal. Ces structures spécifiques sont construites à hauteur des digues de protection qui contiennent le Rhin. Leur aspect est volontairement massif afin d'accentuer la transition avec les viaducs d'accès. L'approche esthétique contribue ainsi à donner une meilleure lisibilité aux différentes parties du pont.

De hauteur constante, les tabliers des viaducs sont réalisés par poussage. "Ils sont construits par tronçons de 15 m de long, soit un tiers de travée environ", résume Bernard Teutsch. La présence d'un avant-bec de 40 m de long évite la réalisation de palées provisoires.

Côté français, le viaduc se divise en quatre travées identiques de 54 m tandis qu'en Allemagne, il comprend trois travées centrales de 64 m, une de 56 m et une de 47 m. Les deux tabliers s'inscrivent dans des courbes de rayon constant. Depuis son inauguration le 10 octobre 2002, le pont Pierre-Pflimlin a vu son trafic augmenter de manière progressive. Autant de véhicules en moins au cœur de Strasbourg ! ■

TEXTE : ANTOINE VAVEL

PHOTOS : GUILLAUME MAUCUIT-LECOMTE



Maître d'ouvrage :
État français (ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et direction des Routes) et Land de Bade-Württemberg

Maître d'œuvre :
DDE 67 – Service des grands travaux

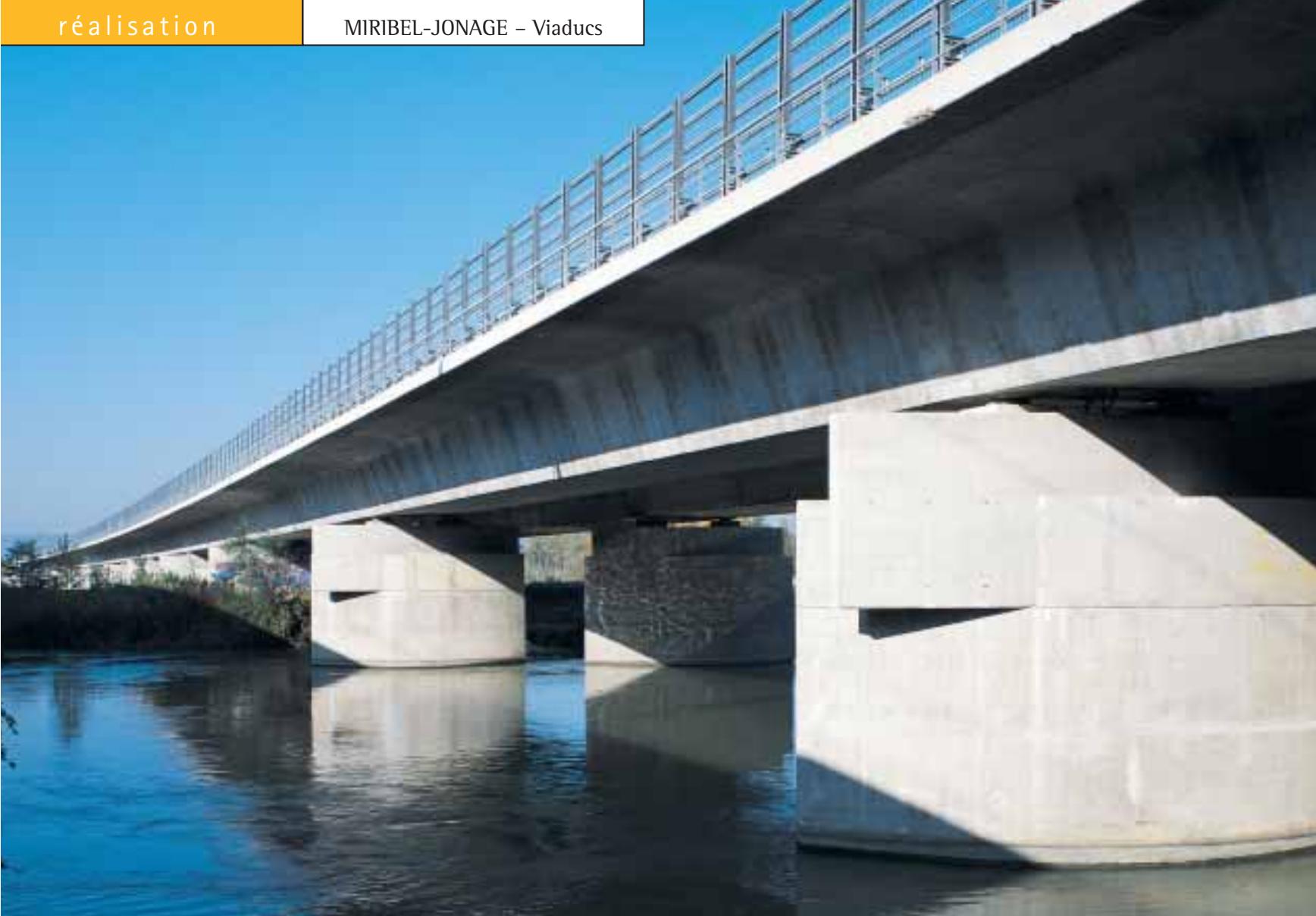
Architecte :
Philippe Fraleu

Conception technique :
Setra

Entreprises :
groupement Bilfinger + Berger et Max Früh

Précontrainte :
Freyssinet

Coût :
68 M€



L'art délicat de la copie conforme

●●● A PRIORI, LE DOUBLEMENT À L'IDENTIQUE D'UN PONT EXISTANT DEVRAIT ÊTRE UNE TÂCHE RELATIVEMENT AISÉE. L'EXPÉRIENCE MONTRE QUE L'OPÉRATION EST SOUVENT PLUS DÉLICATE, L'OUVRAGE EN PLACE CONSTITUANT UNE GÊNE POUR LE NOUVEAU CHANTIER. ET QUAND LES CHOSES SE COMPLIQUENT ENCORE SOUS LES ASSAULTS D'UN CONTEXTE HYDRAULIQUE PARTICULIER ET D'UN CLIMAT PARFOIS GLACIAL, LA DIFFICULTÉ EST À SON COMBLE. MAIS TOUTES CES CONTRAINTES N'ONT PAS SUFFI À ENTRAVER LA RÉALISATION DU PONT DE MIRIBEL-JONAGE, PRÈS DE LYON, VÉRITABLE DÉMONSTRATION DES QUALITÉS PROPRES AUX PONTS EN BÉTON.

Quand l'informatique aide à la construction béton

Le coffrage du tablier a été l'occasion d'une initiative étonnante, destinée à former le personnel de production du chantier. *"Le soutien apporté par l'outil informatique a aidé à former le personnel en permettant à chacun de mieux visualiser la succession des phases"*, détaille Florian Fresnel, directeur de travaux. Le principe : une représentation animée en images de synthèse pour décrire la construction du coffrage en trois dimensions. Projetées sur des écrans vidéo, ces images ont permis de visionner les opérations de coffrage-décoffrage et de découvrir le phasage des opérations, chacun s'appropriant la cinématique de l'ensemble de manière à gagner un temps précieux dans ces différentes phases. CQFD.



>>> 1 et 2 Un contexte hydraulique particulier a rendu plus complexe la réalisation des piles, situées pour leur majorité sur l'île comprise entre les canaux ou dans les canaux eux-mêmes.

Le béton avait été retenu pour le viaduc du TGV comme pour la première section de l'autoroute, mais nous avons choisi de lancer un nouvel appel d'offres pour comparer les atouts de la structure mixte et du béton précontraint. Au final, l'avantage financier de la solution mixte s'est révélé très faible, et la structure béton l'a emporté pour ses délais de réalisation plus courts et son entretien quasiment nul." Les mots sont d'André Thiboud, conducteur d'opérations à la direction de la Construction chez SAPRR, maître d'ouvrage. Ils résumant les critères essentiels qui ont guidé au choix d'une solution béton pour le doublement du pont de Miribel-Jonage, un ouvrage qui permet à l'A432 d'enjamber deux canaux homonymes, lesquels forment le lit du Rhône à cet endroit.

● Achèvement programmé

Au moment de sa construction, il y a une dizaine d'années, cette autoroute de liaison qui unit l'A42 et l'A43 ne comporte qu'une demi-plateforme à double sens. Mais la volonté des pouvoirs publics de décharger les rocade de la périphérie lyonnaise impose l'achèvement de l'ouvrage, et donc le doublement du pont autoroutier. Un chantier qui se révélera plus difficile que le premier. *"L'existence du premier pont est venue entamer l'avantage offert par une aire de préfabrication aux dimensions très vastes,* explique Florian Fresnel, directeur de travaux chez Demathieu & Bard, en charge de la réalisation de l'ouvrage. *Une contrainte à laquelle se sont ajoutées les difficultés liées à un contexte hydraulique particulier."* Le canal de Miribel, en effet, est un canal de décharge destiné à recueillir le trop-plein du canal de Jonage, régulé par un barrage EDF situé en amont du pont. Son débit est donc sujet à de fortes variations. Autre problème et non des moindres, le voisinage difficile d'une ligne EDF très haute ten-

sion, et surtout du tronçon d'autoroute existant demeuré ouvert à la circulation pendant toute la durée des travaux.

"Une dernière difficulté s'est posée avec l'accès à l'île située entre les deux canaux, reprend Florian Fresnel. *La majorité des dix piles du pont étant situées sur cette île ou dans le lit des canaux, il a été décidé de procéder à des travaux en bâtardeaux et à la mise en place d'un pont provisoire lancé sur le canal de Jonage."* Long d'une centaine de mètres, ce pont, authentique ouvrage d'art en lui-même, donne la mesure du travail de préparation effectué par les ingénieurs. Mais les péripéties de la maîtrise d'œuvre ne s'arrêteront pas là.

Le délai d'exécution prévu au lancement des travaux est de 12 mois, dont deux mois d'intempéries prévisibles. Il sera pratiquement respecté, mais la nature se montrera moins conforme aux prévisions. *"Nous avons dû faire face à deux crues décennales qui ont littéralement inondé le chantier"*, reprend le directeur de travaux. Les mois de janvier et février, quant à eux, se montreront particulièrement rigoureux. La température, qui descend alors jusqu'à -8°C , oblige à bétonner dans des conditions très délicates. Les hommes du chantier seront d'ailleurs les seuls à couler du béton dans la région à cette époque. Leur

CHIFFRES CLÉS

- **Longueur totale : 528 m.**
- **Largeur du tablier : 12,45 m.**
- **Rayon en plan : 5000 m.**
- **11 travées.**
- **52 pieux \varnothing 1 300 mm et 8 pieux \varnothing 1 800 mm.**
- **Armatures passives : 1 370 t.**
- **Armatures de précontrainte intérieure : 168 t ; armatures de précontrainte extérieure : 27 t.**
- **Béton des fondations et des appuis : 500 m³.**
- **Béton du tablier : 4 300 m³.**



3

4

>>> 3 Matériau du premier pont, le béton précontraint a été reconduit pour sa copie. Principal avantage par rapport à la solution mixte : des délais de réalisation plus courts. **4** La quasi-absence d'entretien garantit la pérennité du parement au fil des ans.

secret ? Un béton "chaud". Des bâches et des chapiteaux sont dressés sur l'aire de préfabrication pour confiner le coffrage dans une atmosphère chauffée à 15 °C. Un gros travail de préparation, donc, récompensé par un rythme de bétonnage impressionnant : un voussoir tous les deux jours. "Une performance à laquelle il faut associer le fournisseur béton, auteur d'un B45 aux qualités exceptionnelles pour le tablier (23 MPa à 24 heures), précise Florian Fresnel. Un voussoir coulé dans l'après-midi était décoffré le lendemain à 8 heures et mis en tension à 10 heures." Autre qualité à

mettre au compte de la centrale BPE : l'esprit d'initiative. C'est au fournisseur béton, par exemple, que l'on doit l'idée de réchauffer les granulats du béton dans le four d'une centrale à enrobé voisine du chantier...

● **Avantages du pont poussé**

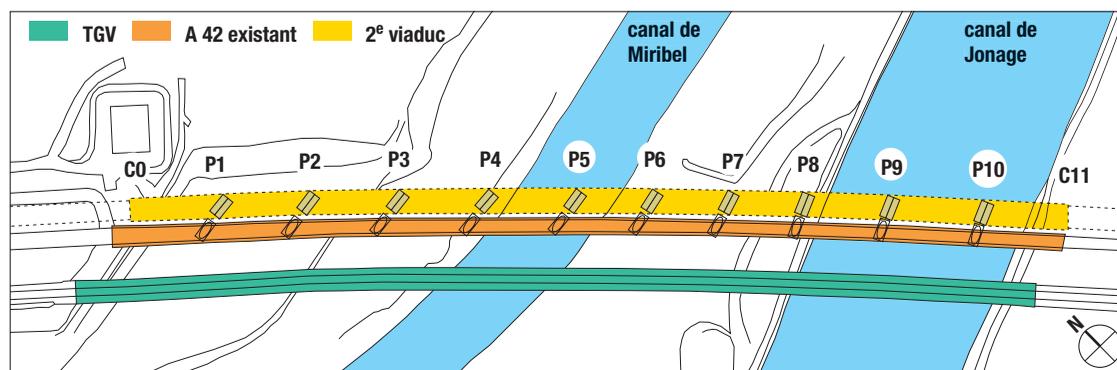
Pour autant, la configuration du chantier et les conditions météorologiques difficiles ne doivent pas masquer les atouts du pont poussé. Et si la réalisation des piles s'est montrée assez délicate – travaux de purge des enrochements effec-

tués par des plongeurs, bétonnage des fûts en plusieurs levées –, cette technique a conservé l'un de ses principaux avantages : la réalisation simultanée des piles et du tablier. Ce dernier (un caisson béton courbe de 5000 m de rayon et de 11 000 t au total) a donc été découpé en 44 voussoirs réalisés par paires puis mis en place par poussage. Guidé par un avant-bec métallique et manœuvré par des vérins d'une poussée totale de 900 t, le tablier glissait au niveau de chaque pile sur deux appuis néoprène/téflon, à la vitesse nominale de 8 m/h. Une technique bien rodée, donc, que Florian Fresnel souhaiterait d'ailleurs plus répandue : "La technique du pont poussé est trop peu usitée en France, et c'est dommage. Le pont béton, spécificité française, pré-

sente aujourd'hui la particularité d'être beaucoup plus demandé en dehors de l'Hexagone qu'à l'intérieur même de nos frontières." Mais gageons que ce directeur de travaux de 28 ans aura d'autres occasions de goûter aux joies du pont poussé en béton... ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : GUILLAUME MAUCUIT-LECOMTE



Maître d'ouvrage :
SAPRR

Maître d'œuvre :
Scetauroute

Entreprise titulaire :
Demathieu & Bard

Études structures :
Secoa

Coût :
9,5 M€ HT



Des architectes auprès des ouvrages courants

●●● ASSOCIER LES ARCHITECTES À LA CRÉATION DES OUVRAGES D'ART, L'IDÉE N'EST PAS TOUT À FAIT NOUVELLE.

MAIS LE PRINCIPE CONNAÎT UNE DÉMOCRATISATION PATIENTE, JUSQU'ÀUX OUVRAGES COURANTS. PRINCIPAUX ARTISANS

DE CETTE TENDANCE, LES CONSEILS GÉNÉRAUX, QUI AJOUTENT VOLONTIERS LA PROFESSION DES ARCHITECTES

AU NOMBRE DES CONSULTATIONS NÉCESSAIRES À LA RÉALISATION D'UNE PASSERELLE, D'UN PONT, D'UNE ENTRÉE

DE TUNNEL. L'ENVIRONNEMENT EST LE PREMIER BÉNÉFICIAIRE DE CETTE PRATIQUE QUI RÉCONCILIE FONCTION,

TECHNIQUE ET ESTHÉTIQUE, TROP SOUVENT DÉSUNIES, PEUT-ÊTRE, AU COURS DE LA SECONDE MOITIÉ DU XX^E SIÈCLE.

TECHNIQUE

Vingt ans de préoccupation architecturale

Valoriser la dimension architecturale des ouvrages d'art n'est pas une idée neuve. On fêtera bientôt les vingt ans d'un document rédigé par le directeur des Routes Jean Berthier et ayant pour titre "La qualité paysagère et architecturale des ouvrages routiers". Le paragraphe d'introduction de ce document y annonçait, en son heure, la politique de conception des ouvrages d'art telle que nous la connaissons aujourd'hui : *"Les routes constituent une des traces les plus significatives que laissent les sociétés. En particulier, les ouvrages d'art ont souvent été l'objet de soins dans leur conception comme dans leur aspect ; de nos jours comme autrefois, le tracé, les équipements, les plantations entre autres éléments de la route participent à la qualité de l'environnement et du cadre de vie. Ainsi aux préoccupations fonctionnelles pour créer la route se mêlent des préoccupations paysagères pour la relier à l'environnement, et des préoccupations architecturales pour le choix des formes et des autres aspects."* De l'eau a certes passé sous les ponts depuis 1984, mais force est de reconnaître l'actualité de ce texte fondateur d'un paysage nouveau, où les "préoccupations architecturales" avaient déjà droit de cité. Mais ont-elles jamais cessé de le mériter ?

Frédéric Zirk est l'un de ces architectes, encore rares, dont l'activité première n'est pas de dessiner des programmes de logements mais des ponts, des passerelles, des entrées de tunnels*. Encore rares, mais en passe de conquérir un territoire où les préoccupations architecturales sont restées longtemps absentes : *"Après la guerre sont apparus nombre de petits ouvrages, sans que leurs concepteurs se montrent toujours sensibles à leurs qualités esthétiques. Peut-être faut-il y voir un manque de culture architecturale de la part de ces ingénieurs alors que, dans le même temps, Freyssinet construisait des choses très intéressantes sur la Marne."* Pour autant, des indices apparaissent depuis quelques années qui militent pour une approche nouvelle, où la décentralisation de la maîtrise d'ouvrage, la protection du cadre de vie, la promotion de la culture, ne sont pas les leviers les moins importants. La concertation avec les acteurs locaux peut même devenir un passage obligé. Mais la pratique n'est pas encore systématique. Reste que les exemples d'ouvrages ayant traversé l'histoire avec bonheur ne manquent

**En collaboration avec Yves Faup, à Montpellier.*

pas. Au nom de cet héritage, au nom également d'une meilleure perception de l'ouvrage d'art par ses utilisateurs et ses riverains, la collaboration entre les ingénieurs et les architectes s'installe donc comme une pratique plus habituelle. Et toujours couronnée de succès.

● Une intervention spécifique

Guy Murail, architecte-urbaniste en pays nantais, incarne cette collaboration réussie depuis une dizaine d'années : *"On constate une évolution dans les préoccupations des responsables des pouvoirs publics. À ce corps d'ingénieurs que sont les Ponts et Chaussées s'associent d'autres modes de pensée, d'autres compétences. Sous l'effet, vraisemblablement, des préoccupations environnementales."* Mais l'intervention de l'architecte dans la conception d'ouvrages d'art est spécifique, et surtout plus vaste qu'on ne l'imagine a priori. *"L'architecte est un homme de synthèse, à même d'envisager tout ensemble des questions techniques, esthétiques, économiques, environnementales et sociales,"* poursuit Guy Murail. *Ses références élargies sont un atout par rapport au spécialiste."* Pas question pour lui d'enjoliver une proposi-



1



2



3

tion technique équilibrée par les ingénieurs, donc, mais plutôt de s'associer à la conception du projet le plus tôt possible. Guy Murail se plaît d'ailleurs à disséquer la démarche des ingénieurs. Pour comprendre les raisons qui leur ont fait choisir tel type d'ouvrage, tel matériau : "Si l'on ne remonte pas à l'origine, on ne comprend pas les partis pris. Il faut connaître ces ingrédients qui vont faire émerger le projet et lui donner un sens architectural." Une situation qui l'a parfois amené à "bousculer" un peu les ingénieurs, mais sans que jamais le contact ne se rompe. Au contraire, l'intervention de l'architecte susciterait plutôt l'émulation : "Les images circulent, on parle des projets en cours ailleurs."

● Architecte-interprète

L'intervention de l'architecte dès le début du projet, c'est aussi le credo de Frédéric Zirk, à Toulouse : "L'architecte est l'interprète d'un langage technique, qui apporte sa spécificité dès le choix de la structure jusqu'à l'expression détaillée des formes et définitions de l'ouvrage." L'architecte-urbaniste relève d'ailleurs qu'il existe une catégorie de professionnels qui combinent les qualités de l'ar-

chitecte et de l'ingénieur, comme Marc Mimram. Mais il sait aussi qu'ils sont peu nombreux. Raison pour laquelle il recommande à l'architecte associé à la conception d'un ouvrage d'art de s'investir totalement dans son sujet. Sachant que l'on passe ici à des structures qui demandent une grande finesse de calcul et de mise en œuvre. On est donc loin de la mission habituelle de l'architecte, qui se limite souvent à organiser l'espace : "Ici, l'architecte doit avoir la culture nécessaire pour interpréter le milieu dans lequel s'inscrit l'ouvrage et garder à l'esprit que l'équilibre entre programme et moyens doit toujours se faire au bénéfice du programme et non des possibilités offertes par la technique. Car le problème, aujourd'hui, est que la technique permet beaucoup de choses." Ses recommandations : connaître les techniques, justement, et se tenir à l'écoute des gens pour rester ouvert, créatif. Quant à l'opinion des ingénieurs eux-



mêmes, Guy Murail répond : "C'est une nouvelle donne dans la démarche de conception. Il est évident que l'architecte-ingénieur aura plus de facilité à faire entendre la faisabilité de ses propositions. Le problème de l'architecte vient de ce qu'il s'exprime par des références, sans pouvoir démontrer. Il doit donc s'adapter en permanence, mais l'expérience, au final, réussit." La formule, d'ailleurs, rencontre un succès grandissant auprès des conseils généraux... ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : GUY MURAIL (1, 2), FRÉDÉRIC ZIRK (3, 4, 5)



- >>> 1 Beslon : liaison route Bleue, La Baule (44), passage inférieur.
- 2 Les Rochelets : Saint-Brévin-les-Pins (44), fontaine de lumière.
- 3 Pile du viaduc du Poumas (48) et croquis. 4 Pile du viaduc du Douy (66) et croquis. 5 Tunnel de Montjezieu nord (48) et croquis.



Livres



→ Ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs

Ce guide de conception décrit de manière détaillée la conception et l'exécution des ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs. Très complets et abondamment illustrés, les dix chapitres traitent chacun d'une étape de l'élaboration d'un tel ouvrage : conception générale, conception détaillée, calculs, préparation de l'appel d'offres, exécution, surveillance des travaux, maintenance... Un guide qui intéressera tous les acteurs de la construction de ces ponts, des architectes aux ingénieurs en passant par les enseignants spécialisés.

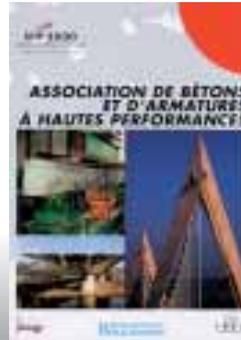
Setra



→ Valorisation des bétons à hautes performances dans les piles et pylônes de grande hauteur des ouvrages d'art

Rédigé dans le cadre du thème BTHP du projet national BHP 2000, ce guide s'appuie sur les projets français récents (viaducs de Verrières ou de Tulle, pont de Normandie...) qui valorisent les BHP dans des ponts comportant des piles ou des pylônes de grande hauteur. Pour ces ouvrages, la spécificité du comportement des BHP (gamme B60-B80) conduit à poser de façon nouvelle les questions du choix du matériau et de son rôle dans la conception.

Laboratoire central des ponts et chaussées



→ Association de bétons et d'armatures à hautes performances

Cet ouvrage présente les résultats d'un groupe de travail mis en place au sein du projet national BHP 2000. Il s'est consacré à l'étude des bétons armés à hautes performances (BA-HP), constitués de bétons à hautes performances (BHP) associés à des armatures à haute limite élastique (AHP). Objectifs : s'assurer de la qualité de l'association BHP-AHP ; examiner les comportements de ces BA-HP (durabilité, résistance aux différents états limites et déformabilité, etc.) ; évaluer leur intérêt économique ; et enfin proposer les adaptations nécessaires des actuelles règles de calcul des constructions en béton armé à l'emploi des BA-HP.

Presses de l'École nationale des ponts et chaussées



→ Construire en béton, l'essentiel sur les matériaux

Ce livre offre une présentation complète des connaissances les plus récentes sur les bétons et la famille des matériaux qui les composent :

- granulats, ciment Portland, additifs minérales, adjuvants, fibres ;
- le béton à tous ses âges, incluant les bétons à hautes performances, fluides, autoplaçants, etc. ;
- les coulis d'injection et les mortiers de réparation ;
- sans oublier les armatures, actives ou passives.

Ce manuel, utile pour les étudiants et les praticiens débutants, constituera un ouvrage de référence pour les utilisateurs chevronnés, qui y trouveront des références aux normes et aux règlements.

Presses de l'École nationale des ponts et chaussées

Symposium

Concrete Structures : The Challenge of Creativity

La Fédération internationale du béton (fib) et l'Association française de génie civil (AFGC) organisent un symposium dans l'enceinte du Palais des Papes en Avignon. Le programme comprend des sessions plénières animées par des experts de réputation mondiale, ainsi que des sessions parallèles qui aborderont notamment l'évolution du béton et de ses propriétés, l'industrialisation des structures en béton, l'innovation par l'association des matériaux, les structures en béton à ultrahauts perfor-

mances, etc. Des visites seront organisées, permettant de découvrir deux projets exceptionnels : les ouvrages de la ligne du TGV Méditerranée et le viaduc de Millau.

Du 26 au 28 avril 2004, au Centre international de congrès en Avignon. www.fib-avignon2004.org

Secrétariat du symposium

Françoise Raban
Tél.: 01 46 11 32 90 – Fax : 01 46 11 32 88
E-mail : francoise.raban@equipement.gouv.fr

Exposition commerciale

Patrick Guiraud
Tél.: 01 55 23 01 08 – Fax : 01 55 23 01 10
E-mail : p.guiraud@cimbeton.net





Original et ludique, le Challenge national canoës en béton connaissait cette année sa troisième édition. Mais l'idée de l'embarcation en béton est bien plus ancienne, puisqu'elle remonte à 1855, date à laquelle Joseph Lambot présente, lors de l'Exposition universelle, une barque imputrescible en ferro-ciment. Bien plus tard, en 1970, c'est l'université de l'Illinois, aux États-Unis, qui organise la première course de canoës en béton. Comme l'idée de la barque dans un sens, le challenge universitaire franchira l'Atlantique dans l'autre, avec ce "Challenge national canoës béton inter-IUT génie civil" qui fête donc sa troisième année d'existence.

Sur le plan d'eau de Miribel-Jonage, près de Lyon, vingt et une équipes issues de onze établissements universitaires (IUT génie civil et ENS Cachan) se sont donc affrontées sur le triple critère de la conception, de la réalisation et des qualités sportives. Vainqueur au général, l'IUT de Bourges l'emporte sur les canoës Speed – le bien-nommé – et Hitman. Deuxième, l'IUT de Saint-Nazaire sur la Carène, suivi de l'IUT de Nîmes, sur Puerto Maldonado. Rendez-vous l'année prochaine à Nîmes...

