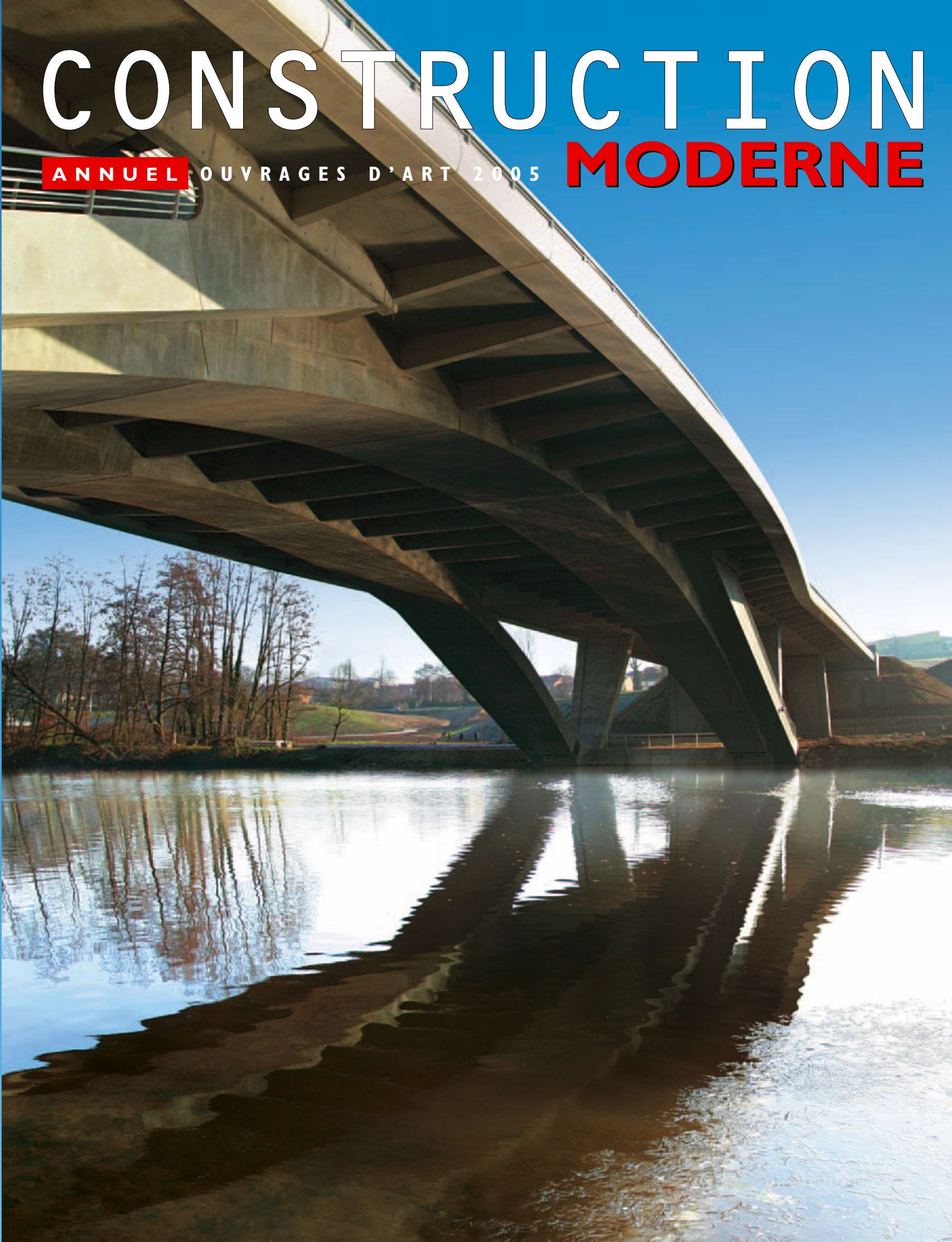


# CONSTRUCTION

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2005

# MODERNE

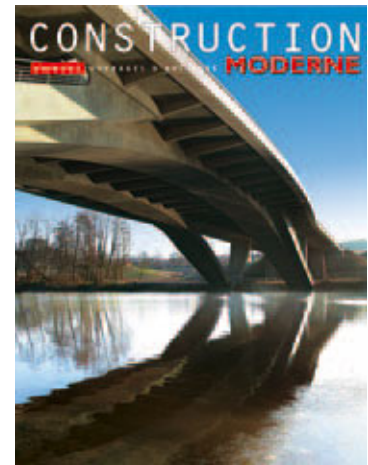


# Éditorial

Qu'ils soient routiers, ferroviaires, fluviaux, aériens ou hertziens, les réseaux de communication rapprochent les hommes. Jeter un "pont" vers l'autre a toujours été un acte humainement symbolique. Cette main tendue, nous l'avons imaginée sous différentes formes: d'abord un tronc d'arbre lancé en travers du ravin, puis des pierres assemblées en arcs de plus en plus élancés, et enfin des matériaux modernes tels que le béton de ciment, que l'ingénieur a appris à maîtriser. De ces performances sans cesse améliorées naissent des tabliers de ponts aux portées toujours plus audacieuses. Le pont a souvent été, pour nos sociétés, un symbole de gloire et de grandeur. De grands ouvrages sont même lancés comme des défis. N'avons-nous pas vu des piles d'ouvrages gigantesques déplacées encore de quelques mètres afin d'inscrire la portée du tablier au "livre des records"? Toujours plus haut, toujours plus long: comment ce gigantisme qui nous fait rêver résistera-t-il au temps? Construisons-nous encore aujourd'hui les "ponts du Gard" de demain?

CHRISTIAN TRIDON, *président du STRES\**

\* Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures, affilié à la FNTF.



>> Couverture

Le pont-passerelle du Clos-Moreau à Limoges.

Photo: Régis Bouchu/Actophoto.

**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](mailto:centrinfo@cimbeton.net) •  
• internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) •

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION:** Anne Bernard-Gély • **DIRECTEUR DE LA RÉDACTION:** Roland Dallemagne • **CONSEILLERS TECHNIQUES:** Patrick Guiraud, Serge Horvath, François L'Huillier • **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 • **DESSINS TECHNIQUES ET PLANS:** Xano • Pour tout renseignement concernant la rédaction, e-mail: [maryse.mondain@l-agence.com](mailto:maryse.mondain@l-agence.com) – tél.: 01 53 00 74 13 • La revue *Construction moderne* est consultable sur [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) • Pour les abonnements: envoyer un fax au 01 55 23 01 10 ou un e-mail à [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) •

## Sommaire • Numéro annuel ouvrages d'art • édition 2005



>> PAGE 01 > Portugal – Viaducs autoroutiers



>> PAGE 07 > Pomponne (77) – Estacade sur la LGV Est



>> PAGE 11 > Monestier-de-Clermont (38) – Viaduc



>> PAGE 15 > Autoroute A51 – Mur de soutènement



>> PAGE 17 > Construire des ponts sans gêner le trafic



>> PAGE 25 > Limoges (87) – Pont-passerelle



>> PAGE 30 > BFUP – Bétons d'exception



>> PAGE 33 > Issy-les-Moulineaux Centre de traitement des déchets



>> PAGE 35 > Architectes à vocation ferroviaire



>> PAGE 39 > Hommages à Charles Lavigne et Jean Muller



# Grands travaux

## aux sources du vignoble de Porto

>>> À PARTIR DE 2007, L'AUTOROUTE PORTUGAISE IP3 SCUT RELIERA LE NORD-EST DU PORTUGAL À L'ESPAGNE.

CONSTRUITE POUR L'ESSENTIEL EN ZONE MONTAGNEUSE, ELLE COMPTE NOMBRE D'OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

TOUT AU LONG DE SES 155 KM. SITUÉ À MI-DISTANCE DU TRACÉ, LE PONT SUR LE RIO CARGO – BERCEAU DES VINS

DE PORTO – CONSTITUE À CE JOUR L'OUVRAGE MAJEUR DE LA LIAISON. TRÈS ÉLANCÉ, FORTEMENT CAMBRÉ EN PLAN,

HAUT PERCHÉ, IL EST LE FRUIT D'UNE COLLABORATION TECHNIQUE POUSSÉE ENTRE INGÉNIEURS ET ENTREPRENEURS

FRANÇAIS ET PORTUGAIS. UNE SYMBIOSE CULTURELLE EXEMPLAIRE POUR UNE BELLE RÉUSSITE.



1



2

## → Exploitation

# Une autoroute à l'heure du péage "virtuel"

**A** partir de l'été 2007, l'autoroute nord-portugaise (IP3 Scut Interior Norte) doit relier la région de Viseu (nord-est du Portugal) à la Galice, en Espagne. Longue de 157,50 km, elle est aujourd'hui partiellement ouverte à la circulation. Le tracé est divisé en sept lots principaux : lot A (en service depuis août 2005), lot F (septembre 2002), lot B (décembre 2003), lots G et C (décembre 2004), lot D (en projet) et lot E (en tra-

vaux). Financée d'une manière originale, l'autoroute IP 3 doit fonctionner selon le principe du péage "virtuel", d'où la présence, dans le nom du projet, du sigle Scut qui signifie "Sem custos para o utilizador" (sans coût pour l'utilisateur). Le péage n'est donc pas acquitté par les usagers mais les montants sont directement reversés par l'État au concessionnaire. Dans la pratique, les segments autoroutiers sont équipés de capteurs de mesure automatique du trafic. Les données enregistrées sont transmises au ministère des Transports portugais qui paie alors le péage au concessionnaire. Pour la conception-réalisation d'une partie des ouvrages de franchissement de l'autoroute, le groupement constructeur Norinter (100 % Eiffage) a fait appel à l'entreprise Spie Batignolles Europe. Celle-ci intervient dans le projet en tant que sous-traitant principal, avec un programme de quatorze ponts et viaducs à réaliser dont l'imposant viaduc de Vila-

Pouca-de-Aguiar, aussi appelé "le petit Corgo". Tout juste lancée, sa construction doit durer 48 mois. D'une longueur de 1 350 m, l'ouvrage doit être construit selon les techniques du pont poussé (viaducs d'accès) et des encorbellements successifs (travées centrales).

### Encorbellement, poussage et préfabrication

Jusqu'à présent, Spie Batignolles Europe s'est concentrée sur les lots A et C. Segment le plus au sud du projet IP3, le lot A se développe sur 18,8 km et intègre trois ouvrages majeurs, construits selon trois techniques différentes : le poussage pour le pont sur la rivière Vouga (310 m de long et 6 travées), les poutres préfabriquées PRAD pour le V1 (290 m et 10 travées), un cintre auto-lanceur pour le pont sur la rivière Cabrum (436 m et 11 travées). Cette dernière technique est très utilisée au Portugal. À peine plus

long – 22,80 km –, le lot C s'inscrit dans la continuité directe du pont sur le rio Corgo. La topographie très accidentée de son tracé a imposé la construction de huit ouvrages d'art dont certains à flanc de colline.

Les quatre ouvrages aux travées courantes proches de 44 m ont vu, pour leur réalisation, l'application de la méthode de construction par encorbellements successifs réalisés à l'aide d'un cintre auto-lanceur : pont de la rivière Toirinhas (380 m, 9 travées), viaducs V1 (380 m, 9 travées), V6 (336 m, 8 travées) et V7 (424 m, 10 travées).

Les quatre autres ouvrages, aux travées courantes d'une longueur moyenne de 30 m, ont bénéficié de la technique du poussage de leur tablier V3 (140 m, 5 travées), V4 (170 m, 6 travées), V5 (230 m, 8 travées) et enfin V8. Ce dernier viaduc présente deux tabliers de 170 m et 200 m de long, divisés respectivement en six et sept travées. ■

>>> Photo d'ouverture : Vouga – Brèches et rivières animent le tracé de l'IP3 Scut, occasion de nombreux ouvrages, à l'image du viaduc de Vouga.

**V1 – 1** L'ouvrage V1 du lot A est le seul pont de l'autoroute portugaise IP3 construit selon la technique des poutres préfabriquées PRAD.

**2** Le viaduc V1 se développe sur une longueur de 290 m, avec un tablier divisé en dix travées. **Corgo – 3** Les deux tabliers parallèles de 635 m et 645 m de long sur leurs axes respectifs ont été réalisés selon la technique des encorbellements successifs. **4** Majestueux, le double viaduc sur le rio Corgo constitue à ce jour l'ouvrage majeur du tracé IP3 Scut Nord.

#### chiffres clés

- Longueur : **157,5 km**
- Terrassement : **26 millions de m<sup>3</sup>**
- **38 viaducs**
- **100 ouvrages de franchissement**
- Durée de la concession : **30 ans**
- Durée de réalisation : **24 mois**



3



4

## → Franchissement du rio Corgo Deux viaducs **parallèles**

Les viaducs parallèles sur le rio Corgo, affluent du Douro, sont les ouvrages marquants de la liaison autoroutière IP3 reliant Viseu à Chaves, dans le nord-est du Portugal. Ils se situent à mi-distance du tronçon, à hauteur de la ville de Peso-de-Régua, à 80 km à l'est de Porto. D'une longueur de 625 m, l'ouvrage se caractérise en premier lieu par un double tablier qui suit un rayon de courbure en plan très faible de 500 m et se raccorde, sur ses cent derniers mètres, sur un alignement droit par l'intermé-

diaire d'une clothoïde. La courbure provoque un dévers transversal de 7 % sur l'essentiel de sa longueur, qui passe à 0 % au niveau de la culée nord.

Cinq travées – 93,50 m, trois fois 146 m et 93,50 m – découpent les deux tabliers parallèles. Leur profil est très élancé, l'élancement passant de 1/17 au niveau des appuis à 1/49 à la clef. Au nombre de quatre par tablier, les piles présentent aussi une ligne effilée au regard de leur hauteur : de 42 à 66 m, exception faite des piles P4 qui ne mesurent que 25 m. Elles sont de section rectangulaire, creuses, d'une dimension de 5 m dans le sens longitudinal et de 6,50 m dans le sens transversal. Aux quatre coins, des "oreilles" ajoutent à la finesse de l'ensemble.

### Transformation d'un monocaïsson en double caïsson

Pas d'architecte pour cet ouvrage "d'ingénieur". Le cabinet Jean Muller International est à l'origine des épures et de la

réalisation des études préliminaires dites "projecto base". Au départ, l'ouvrage était constitué d'un tablier monocaïsson de 25 m de large. Mais durant la phase de mise au point du projet, le pont s'est transformé en un ouvrage à deux caïssons indépendants de 13 m de large, séparés par 6 m de vide. Le bureau d'études portugais Armando Rito Lda a travaillé sur ce "projecto de execuçaõ". Et c'est cet ingénieur renommé qui a finalisé les lignes spécifiques de l'ouvrage sur le rio Corgo.

### Encorbellements successifs

Les deux tabliers parallèles (615 m et 635 m de long sur leurs axes respectifs) sont réalisés selon la technique des encorbellements successifs. Trois paires d'équipages mobiles permettent la construction selon une cadence de trois mois pour deux demi-fléaux. Chacun d'eux est divisé en dix-neuf voussoirs de 3,45 ou 3,60 m selon le tablier. De géométrie variable, ces voussoirs nécessitent pour leur coulage un volume de béton variant de 32 à 58 m<sup>3</sup>. Afin de suivre le rythme de construction – un bétonnage tous les trois jours –, les cages d'armatures sont préfabriquées au pied des piles. Le

tablier bénéficie d'une précontrainte intérieure, classique au Portugal. Pourtant, le "projecto base" l'avait prévue extérieure. Cette évolution a majoré les efforts de précontrainte en phase de construction, avec pour avantage une action très positive sur la maîtrise des déformations différées.

Élément singulier et remarquable, chaque voussoir sur pile (VSP) nécessite près de six semaines pour sa réalisation. D'une longueur de 9 m pour un volume de 242 m<sup>3</sup> de béton, il est construit en deux phases : hourdis inférieur, âmes et entretoises dans un premier temps, puis hourdis supérieur. Les deux VSP centraux sont encastrés sur leurs piles respectives (P2 et P3) tandis que ceux positionnés sur les piles d'extrémité (P1 et P4) reposent sur des appuis à pot. La nécessité d'employer ce dispositif est la conséquence de la longueur totale des tabliers et de la forte variation des températures dans la région du rio Corgo.

Du fait de la courbure importante des tabliers, l'excentricité des fléaux par rapport aux piles entraîne un moment de flexion qui se traduit par une tendance au basculement de la structure durant la phase de construction. Afin de contrer le phénomène, un haubanage provisoire

#### chiffres clés

- Longueur : **635 m et 645 m**
- Surface du tablier : **16 300 m<sup>2</sup>**
- Rayon en plan : **500 m**
- Hauteur au-dessus du Corgo : **80 m**
- Béton : **29 000 m<sup>3</sup>**
- Armatures passives : **3 800 t**
- Armatures de précontrainte : **1 040 t**



5



6



7

## international

## Le savoir-faire français s'exporte

De l'Europe communautaire à l'Asie du Sud-Est, en passant par les Amériques, l'Afrique ou le Moyen-Orient, les entreprises françaises de construction sont présentes à l'international. Le "grand export" représente 20 % de leur chiffre d'affaires annuel. *"Mais 80 % de ce résultat est réalisé dans des pays stables au plan économique, juridique et politique"*, souligne Roger Fiszelson, délégué général du SEFI (l'organisme qui réunit les entrepreneurs français internationaux).

Sur ce vaste marché de l'exportation des compétences, les Français tiennent le haut du pavé, suivis par les Allemands et les Suédois. Les Britanniques et les Américains interviennent davantage dans des missions d'ingénierie... Le savoir-faire des entreprises françaises se situe surtout au niveau de la maîtrise globale des projets. *"Cela concerne aussi bien la maîtrise de la technique que des aspects juridiques ou encore organisationnels"*, poursuit Roger Fiszelson. Plutôt stable car calquée sur la croissance des produits intérieurs bruts (PIB), l'exportation suit deux logiques parallèles en fonction des pays visés. *"En Europe, c'est avant tout une volonté d'implantation locale qui dicte la démarche, tandis qu'ailleurs, le coup ponctuel ou l'opportunité peuvent dominer la politique d'exportation d'une entreprise"*, conclut Roger Fiszelson.

extérieur de stabilisation des piles est mis en place entre le tablier (au niveau du VSP) et les semelles. En outre, une précontrainte intérieure renforce chacune des piles. Constituée de huit câbles

15T15, elle est ancrée dans les semelles et dans les entretoises des voussoirs sur piles. Non encastré mais reposant sur appui mobile une fois l'ouvrage en service, le VSP au droit de la pile P1 bénéficie

de lui aussi d'un traitement particulier durant la phase de construction : il est cloué sur la tête de pile à l'aide de câbles de précontrainte.

### Cinquante degrés Celsius lors de la prise...

Côté béton (29 000 m<sup>3</sup> pour l'ensemble de l'ouvrage), la formule a été étudiée avec un ciment de type CEM II dosé à 450 kg/m<sup>3</sup>. Une nécessité pour garantir les résistances au jeune âge. Ce fort dosage entraîne des élévations de température importantes dans le béton au moment de sa prise. À l'image des voussoirs sur piles où ces températures internes avoisinent les 50 °C, avec des températures extérieures proches de 35 °C l'été. Pour en réduire l'impact, la formule destinée au coulage des VSP a été adaptée, passant à 420 kg de ciment par mètre cube et permettant ainsi de réduire la température du béton de 3 °C. En outre, le coulage de ces éléments s'est déroulé la nuit durant l'été, de façon à bénéficier des périodes fraîches. Dernière opération de construction, le clavage des fléaux constitue un exercice délicat. En effet, les amplitudes de température consécutives à la forme de l'ou-

vrage et à l'important ensoleillement du site de Corgo peuvent entraîner des dilatations de 40 mm en bout de fléau. Voire même 70 mm d'amplitude verticale dans des cas particuliers.

Pour réduire au minimum les efforts induits par de tels déplacements dans les coffrages, le groupement d'entreprises a procédé à la mise en place d'un système de bridage lourd sur les hourdis supérieur et inférieur de chaque fléau. Une autre technique classique au Portugal pour ce type de réalisation. Constitué de profilés HEB 300, ce dispositif permet de bloquer les déplacements longitudinaux et verticaux tout en assurant la continuité entre les deux fléaux et surtout le parfait encastrement des deux côtés du clavage.

Aujourd'hui en service, le pont sur le rio Corgo est un ouvrage remarquable du fait de sa longueur, de la courbure de son tablier, de son élancement et de la finesse de ses piles. Une conception particulière qui donne une grande souplesse à la structure. L'exploit vaut aussi par la diversité des techniques de construction qui, loin de provoquer des blocages, a permis un enrichissement mutuel des entreprises portugaises et françaises en charge de l'exécution de l'ouvrage. ■



8

9

## → Savoir-faire La rencontre des cultures

Le pont sur le rio Corgo constitue l'exemple type d'un ouvrage international, conçu suivant un avant-projet français, construit selon un "projecto de execuçã" portugais et réalisé par un groupement d'entreprises françaises (pour la majorité). Un véritable choc des cultures. "La première différence en termes de méthodes constructives se

situe au niveau des équipes mobiles utilisés pour la réalisation des encorbellements", explique Michel Guérinet, directeur scientifique d'Eiffage Construction. En France, l'outil s'articule autour de deux poutres porteuses principales parallèles positionnées sous le hourdis supérieur, à l'extérieur du caisson formé par le voussoir. Elles sont fixées

directement au béton par l'intermédiaire de tiges de précontrainte. L'essentiel de la structure coffrante extérieure vient s'appuyer dessus, et seul le plancher inférieur est suspendu. Quant à la partie coffrante intérieure, elle repose sur des poutres coulissantes indépendantes prenant appui sur les poutres porteuses principales.

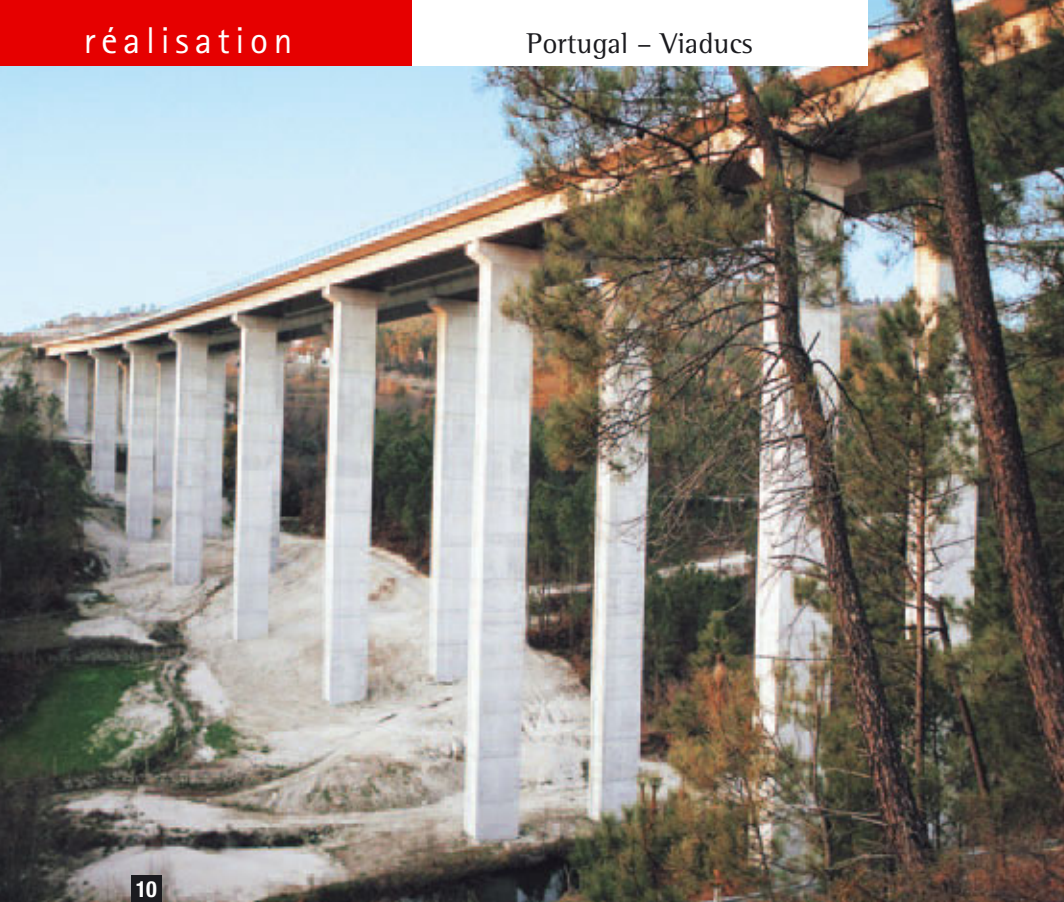
Au Portugal, *a contrario*, les poutres porteuses principales sont placées au-dessus du hourdis supérieur et l'ensemble de la structure coffrante est suspendu par le biais de tiges passives. "Ce principe entraîne l'allongement des tiges passives au moment du bétonnage, ce qui n'est pas le cas sur les équipes français du fait de l'utilisation de tiges précontraintes", poursuit Michel Guérinet. Sur le Corgo, c'est la méthode française qui a été mise en œuvre.

➤➤➤ **Cabrum** – Le pont de Cabrum a été construit selon la technique du cintre auto-lanceur, une méthode particulière fréquemment utilisée au Portugal. Des outils du même type (dont celui-ci) ont été utilisés sur quatre autres ouvrages du tracé IP3.



### Précontrainte à la manière portugaise

La deuxième différence de taille concerne la précontrainte. Et plus précisément son positionnement dans l'ouvrage. "Au Portugal, toute la précontrainte est intérieure au béton et mise en place en totalité au moment de la construction", reprend Michel Guérinet. Ce principe apporte un réel avantage au niveau de la maîtrise des phénomènes de fluage. Mais il peut compliquer la maîtrise des



10

11

### implantation locale

## La réussite lusophone

Spie Batignolles et le Portugal, voilà une histoire d'amour qui dure depuis près de cinquante ans. *“Aujourd'hui, nous nous considérons comme une entreprise portugaise à part entière”*, reconnaît même Alain Lacroix, directeur général adjoint de Spie Batignolles Europe. Malgré tout, l'entité garde des méthodes de management et de suivi technique *“à la française”*. Et cela marche ! L'entreprise intervient dans les opérations où le savoir-faire cohabite avec la technicité et l'organisation. *“Nous sommes identifiés comme un spécialiste en matière de construction de tunnels.”* Cette discipline représente d'ailleurs près des deux tiers de l'activité de Spie Batignolles.

Les ouvrages d'art et les structures spéciales constituent la seconde casquette de l'entrepreneur, à l'image du projet autoroutier IP 3. *“Notre présence de longue date sur le territoire portugais, notre savoir-faire technique et notre maîtrise des méthodes constructives locales ont séduit et surtout rassuré le groupement Norinter”*, résume Alain Lacroix.

déformations différées en cas de sollicitations de flexion importantes en construction. Ici, l'approche portugaise de la précontrainte offre un avantage certain. Elle a été retenue pour la construction de l'ouvrage. En France, *“la réglementation privilégie la possibilité de remplacer des câbles de précontrainte*

*sur un ouvrage en service*, résume Michel Guérinet. *Ce choix conduit de fait à la mise en œuvre de la quantité minimale de précontrainte nécessaire à la stabilité de l'ouvrage en phase provisoire.”* Une autre singularité portugaise concerne l'étanchéité du tablier des ouvrages. De manière traditionnelle, les

**>>> Gabrum – 10** *Haut perché sur ses piles, le pont sur la rivière Cabrum présente deux tabliers parallèles de 11 travées chacun pour une longueur totale de 436 m. 11* *Traditionnellement, les ponts et les viaducs portugais ne bénéficient pas d'une étanchéité. Le groupement Norinter a pourtant choisi de mettre en œuvre cette étanchéité, seule garante de la pérennité des ouvrages.*

ponts et autres viaducs n'en bénéficient pas ! Mais, pour Norinter, le groupement d'entreprises mandaté pour la construction de l'autoroute IP3, il était primordial que cette étanchéité soit malgré tout mise en œuvre pour garantir la pérennité des réalisations dont Norscut assure la concession. *“Nous avons convaincu nos représentants de retenir cette option malgré le surcoût engendré”*, reprend Michel Guérinet. Cette présence était d'autant plus importante que les routes de la région sont salées l'hiver, surtout dans les zones de montagne (cas de l'IP3). Dans un même souci de pérennisation des ouvrages, le groupement d'entreprises a intégré les exigences relatives à la durabilité des bétons durcis soumis au gel et aux sels de déverglaçage au moment de la formulation des bétons. ■

TEXTE ET PHOTOS : ANTOINE VAVEL

PHOTO D'OUVERTURE ET 8 SPIE BATIGNOLLES,  
3, EIFFAGE



**Maître d'ouvrage :**  
Instituto das estradas de Portugal  
(État)

**Concessionnaire :**  
Norscut (Eiffage 45 %,  
Contacto 25 %, CDC Ixís 15 %,  
Egis Project (10 %), SEOP (5 %))

**Bureau d'études  
“projecto base” :**  
Jean Muller International

**Bureau d'études  
“projecto de execução” :**  
Armando Rito Lda

**Constructeur :**  
Norinter (Eiffage Construction  
69 %, Seop 31 % [filiale portugaise  
d'Eiffage Construction])





# Une estacade pour le château de Pomponne

>>> LA TRAVERSÉE PAR LE TGV DU PARC PRIVÉ DU CHÂTEAU DE POMPONNE, EN SEINE-ET-MARNE, A NÉCESSITÉ

LA RÉALISATION D'UNE ESTACADE DE 535 MÈTRES DE LONGUEUR. L'OBJECTIF RECHERCHÉ ÉTAIT DE RÉDUIRE

AU MINIMUM L'IMPACT DE LA LGV EST EUROPÉENNE SUR SON ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT. L'OUVRAGE GARANTIT

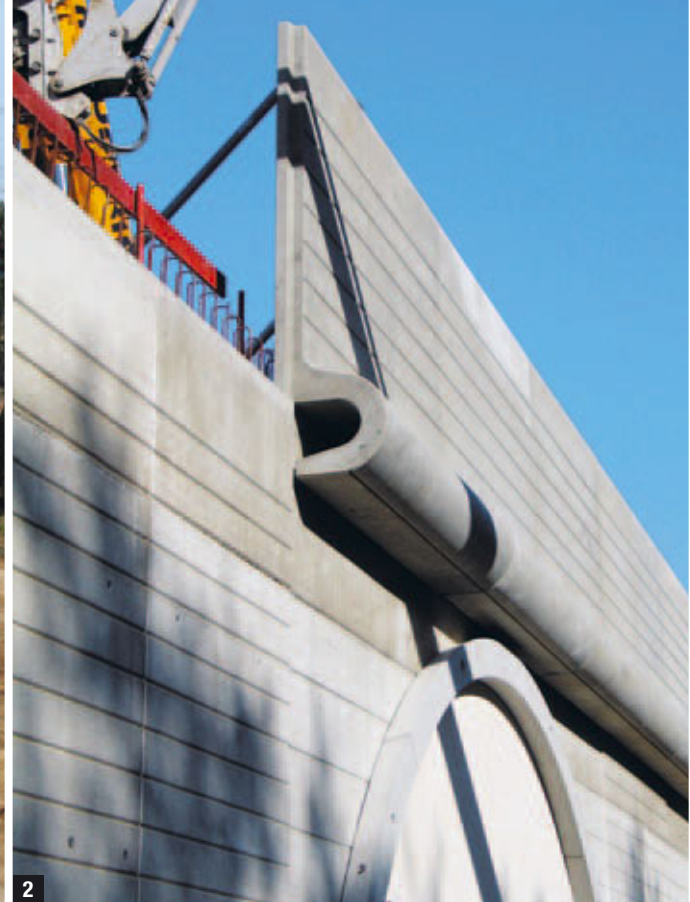
LE MAINTIEN DES PERSPECTIVES DU PARC, SOUS LA FORME D'UN NOUVEAU MUR POUR LE CHÂTEAU.

D'OÙ UNE ARCHITECTURE SOIGNÉE RAPPELANT PAR SES FORMES LES ÉDIFICES DU XVII<sup>E</sup> SIÈCLE. L'OUVRAGE

CONSTITUE EN MÊME TEMPS UNE BARRIÈRE ACOUSTIQUE QUI VIENT PROTÉGER LE PARC.



1



2

C laye-Souilly, en Seine-et-Marne, constitue le nœud d'interconnexion entre la ligne à grande vitesse (LGV) Est européenne, aujourd'hui en construction, et les réseaux TGV Nord, Méditerranée et Atlantique. Cette commune est aussi le point d'entrée de la LGV Est en direction de la capitale. Au-delà de cette limite, la ligne nouvelle poursuit son parcours sur une "pénétrante" qui permettra aux trains de rejoindre le cœur de Paris en gare de

l'Est. Sur ce début de parcours, la vitesse d'exploitation est déjà élevée avec une vitesse de circulation des rames qui s'établit aux alentours de 230 km/h, contre 320 km/h en pleine voie. S'insérant dans un tissu urbain de plus en plus dense, la "pénétrante" se joue des contraintes externes de manière à perturber le moins possible son environnement immédiat. Ainsi, à Pomponne, la ligne traverse le parc historique et privé du château, un ensemble datant du XVII<sup>e</sup> siècle dont l'ouverture au public est envisagée après réhabilitation. Ce contexte particulier, mais surtout la nature même des lieux, ont imposé des aménagements paysagers et architecturaux spécifiques.

### Continuité des perspectives

La construction d'un ouvrage surélevé constitue le premier choix technique allant dans ce sens : en faisant passer la ligne sur une estacade, Réseau ferré de France (RFF) a réussi le pari architectural de réduire l'effet de coupure du site tout en assurant la continuité des perspectives. L'aspect visuel de l'estacade de Pomponne est signé par le cabinet d'architecture Strates. Vincent Berlottier, son

concepteur, a imaginé l'ouvrage comme un nouveau mur du château, renforçant l'interactivité entre la création d'une ligne de TGV et la restauration du parc. "Sur ce lot, l'architecte Vincent Berlottier est intervenu en phase 'projet' avec pour mission de concevoir l'ouvrage d'un point de vue esthétique, indique Christelle Connetable, chef de lot 11 à la direction de la maîtrise d'œuvre génie civil de la SNCF. En parallèle, la SNCF en a assuré la conception technique." En fait, pour l'ensemble de la LGV Est européenne, l'architecture de ligne des ouvrages courants a été confiée à Alain Spielmann. Les ouvrages considérés comme non courants ont été traités par d'autres architectes.

Construction massive, l'estacade se développe sur une longueur globale de 535 m et décrit une courbe en plan de 2 100 m de rayon. Son profil en long présente une pente maximale qui ne dépasse pas 1 %. L'estacade s'inscrit dans la continuité directe de l'ouvrage de franchissement de l'autoroute A 104, situé au sud. Au nord, le tracé se poursuit sur un talus en remblai. La structure de base de l'estacade consiste en un plot de 15 m de long composé d'une arcade centrale en demi-cercle de

4,75 m de rayon, encadrée par deux trumeaux périphériques de 2,25 m de large. L'ensemble est surmonté de corniches préfabriquées en béton. Au total, l'estacade compte trente-six plots constituant trente-six arcades. Sept d'entre elles sont traversantes afin de préserver les perspectives du site, qui créent autant de plots particuliers. La traversée la plus remarquable est localisée au droit de l'allée de la Justice, l'un des principaux axes de cheminement du parc. Afin d'en souligner l'importance, l'ouverture voûtée située au centre est renforcée par la présence de deux passages secondaires plus étroits, implantés de part et d'autre, et dont le rôle est d'assurer la continuité des deux fossés latéraux tout en animant la traversée.

### Percement transversal en trois arches

Plus près de l'A 104, la présence de deux conduites souterraines de gaz et d'eau et d'un chemin de débordage nécessitait un deuxième percement transversal de l'estacade, en trois arches. Particularité de l'aménagement, le non-alignement des voûtes de part et d'autre de l'estacade, car les conduites souter-

#### chiffres clés

- Longueur de l'estacade : **535 m**
- Largeur : **11,80 m**
- Ouvrage en courbe : **2 100 m de rayon**
- Nombre de plots : **36**
- Longueur standard d'un plot : **15 m**
- Hauteur des voiles : **de 3,50 à 6,50 m**
- Épaisseur des voiles : **70 cm**
- Épaisseur de la dalle : **90 cm au centre et 1,20 m en piédroit**
- Nombre de corniches préfabriquées : **360**
- Bétons : **10 000 m<sup>3</sup>**



3



4

raines se présentent de biais par rapport à l'estacade. Les trois autres percements de l'estacade sont réalisés au droit des principales zones humides. Ces passages hydrauliques permettent d'assurer la continuité hydraulique et écologique du fonctionnement du site, tout en ménageant une traversée visuelle supplémentaire et un franchissement possible sous l'estacade.

La singularité architecturale de l'estacade de Pomponne provient du traitement de ses piédroits. En fait, chaque plot

est décomposé en quatre parties distinctes. La partie centrale est occupée par une arcade dont trois éléments préfabriqués en arc de cercle, de 30 cm de large et de 20 cm d'épaisseur, surlignent les limites. Ces éléments sont fixés par boulonnage, une fois ces derniers réalisés.

### Bouchardage mécanisé

Quand elle n'est pas percée, la partie inscrite à l'intérieur des arcades est habillée de parements en béton bou-

>>> 1 L'estacade se développe sur une longueur de 535 m et décrit une courbe de 2 100 m de rayon. 2 Les 360 corniches présentent une hauteur constante de 3,02 m. Elles ont toutes été préfabriquées en BAP. 3 L'intérieur des arcades est constitué d'un parement en béton bouchardé réalisé à l'aide d'une raboteuse pour paroi moulée. 4 Saillants de 3 cm par rapport à la zone d'arcade, les trumeaux bénéficient d'un traitement à base de rainures.

chardé. "Compte tenu du nombre d'arcades à boucharder, nous avons choisi de mécaniser le procédé, explique Stéphane Marinutti, ingénieur d'exécution de l'entreprise Eiffage TP. Pour cette opération, nous avons utilisé une raboteuse pour paroi moulée qui a permis d'obtenir un aspect visuel uniforme

d'une arcade à l'autre." L'engravure est d'environ 5 mm. L'extérieur des arcades bénéficie d'un rainurage appliqué à même le nu du voile lisse et brut de décoffrage. L'espacement du rainurage est de 50 cm. Ce traitement renforce l'impression de relief. Les rainures présentent un profil triangulaire de 2 cm de profondeur pour une largeur de 3 cm à la base. Saillants de 3 cm par rapport à la zone d'arcade, les trumeaux sont traités d'une manière similaire en termes de motif mais avec un entraxe calé à 25 cm. "Cette contrainte a imposé la fabrication d'un élément de liaison destiné à assurer la jonction entre les différentes banches de coffrage", poursuit Stéphane Marinutti.

### De la difficulté d'aligner les rainures...

À ce niveau, la véritable difficulté est provoquée par l'espacement entre les rainures : si sur un plot isolé, cet entraxe de 25 cm ne posait aucun problème, il

>>> Le rainurage est appliqué à même le nu du voile lisse et brut de décoffrage de l'ouvrage. L'espacement entre deux rainurages est de 25 ou 50 cm selon la zone. Les rainures présentent un profil triangulaire de 2 cm de profondeur pour une largeur de 3 cm à la base.





5



6



7

interdisait les alignements d'un plot à l'autre. Une contrainte d'autant plus perceptible que l'ensemble de l'estacade accompagne le profil du terrain. "Nous avons proposé une variante à 23 cm d'entraxe afin de garantir le parfait raccordement des rainures des trumeaux contigus", détaille Stéphane Marinutti. Cette variante a été acceptée. Pour l'entreprise, l'objectif était aussi de mettre au point un outil coffrant réutilisable un maximum de fois sans modification majeure.

### Des baguettes soudées ou aimantées aux coffrages

Pour réaliser les rainures des trumeaux, des baguettes métalliques ont été soudées à même la peau du coffrage sur toute sa longueur. Ainsi, tout risque de déplacement des baguettes a été définitivement écarté. Pour la partie centrale des plots, l'entreprise a adopté des baguettes aimantées en caoutchouc. C'était la seule solution pour permettre d'ajuster leur longueur à celle des rainures, directement dépendante de la position des arcades. La seconde contrainte de réalisation concernait l'horizontalité même des rainures. Une

obligation délicate à respecter sur un ouvrage qui ne l'est pas... À vrai dire, la difficulté se situait à l'interface des piédroits et des corniches préfabriquées puisque les secondes suivent obligatoirement la pente variable de l'estacade tandis que les premiers, coulés en place, sont horizontaux. De plus, les rainures des corniches et celles des piédroits devaient, bien entendu, être parallèles. Pour résoudre cette "quadrature du cercle", l'entreprise a dû trouver une astuce... "Nous avons résolu le problème en ajustant l'inclinaison de la rainure qui camoufle l'arrêt de bétonnage entre le piédroit et la dalle de couverture", reprend Stéphane Marinutti. À cet endroit, l'espacement avec la rainure inférieure peut varier de +/- 3 cm sur une longueur de deux trumeaux, soit 4,50 m. À l'œil nu, cela reste invisible. Pari gagné.

Constituant la quatrième partie des plots, les corniches sont, avec les arcs des arcades, les seuls éléments préfabriqués de l'estacade. Elles ont été préfabriquées à l'aide d'un béton autoplaçant formulé à partir du même ciment – CEM I 52,5 N CP 2 – que celui mis en œuvre pour couler les piédroits et la dalle de l'estacade. Au nombre de 360,

>>> 5 L'estacade compte trente-six plots constituant trente-six arcades dont sept sont traversantes. 6 Pour la traversée de l'allée de la Justice, deux passages secondaires étroits encadrent l'ouverture voûtée centrale.

7 La présence de deux conduites souterraines de gaz et d'eau a nécessité la création d'un percement transversal de l'estacade en trois arcades.

ces éléments de 3,02 m de hauteur constante – pour 17 cm d'épaisseur – reprennent le même dessin architectural que celui des piédroits. L'entraxe des rainures, cependant, a été maintenu à 25 cm. Chaque plot reçoit cinq éléments de corniche, déclinés en trois types afin de s'adapter parfaitement aux différentes configurations. Ainsi, au droit des trumeaux, prennent place des éléments standards et identiques de 2,25 m de long.

### La barrière acoustique de l'ouvrage

La partie "arcade" voit la mise en place de trois éléments : deux latéraux de 3,409 m et un central dont la longueur varie entre 3,20 et 3,51 m. "Les corniches ont été dimensionnées de façon à dissimuler les trains, conclut Christelle Connetable. En même temps, elles permettent de créer une barrière acoustique pour les visiteurs du parc." ■

TEXTE : ANTOINE VAVEL

PHOTOS : PIOTR ZANEK



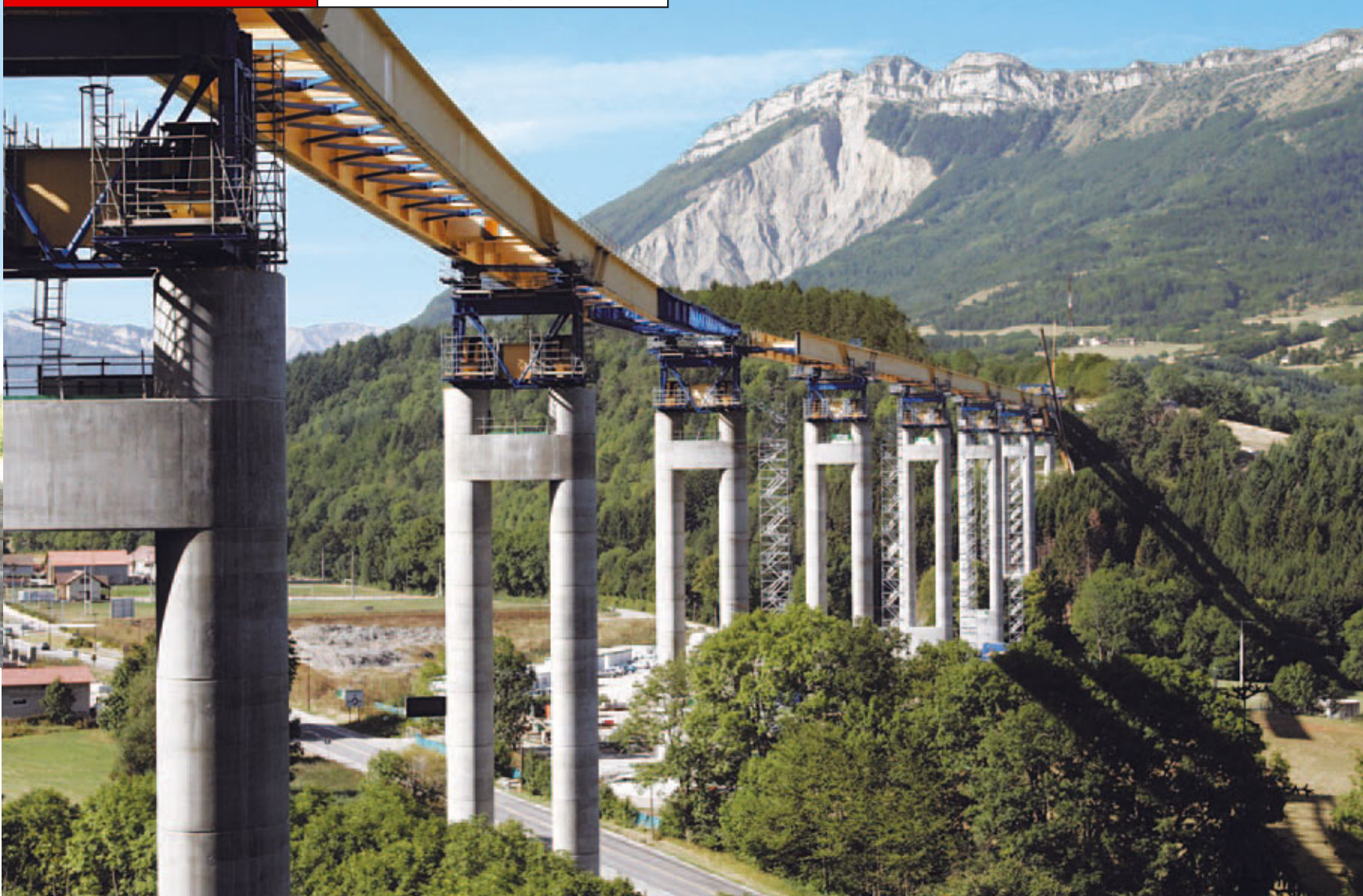
**Maître d'ouvrage :**  
Réseau ferré de France

**Maître d'œuvre :**  
SNCF/Arcadis

**Architectes :**  
Strates  
(Jean-Vincent Berlottier,  
Hervé Vadon et  
Catherine Sainthon)

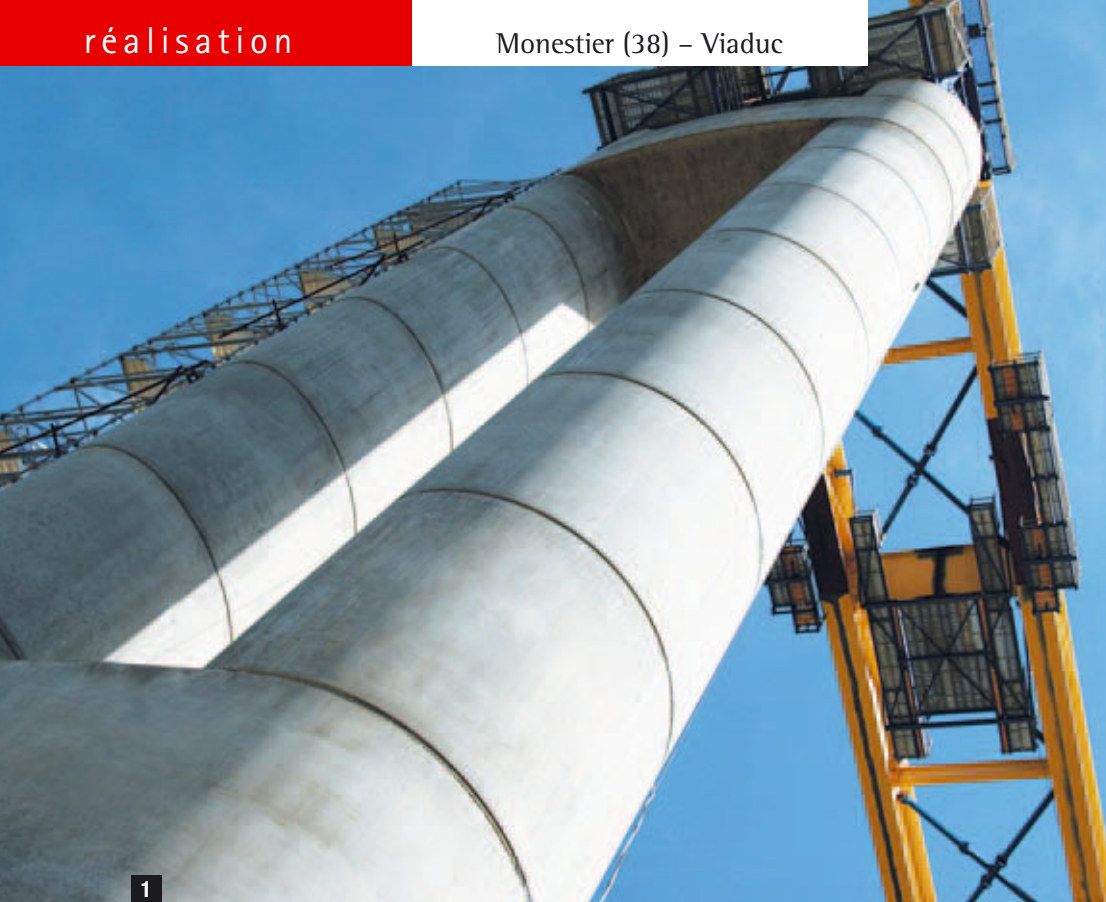
**Entreprises :**  
Eiffage TP (mandataire)  
Fougerolle Ballot-Rolland

**Montant des travaux :**  
10 M€ HT



# Transparence sur fond de Vercors

>>> AREA A EN CHARGE LA CONSTRUCTION DE LA SECONDE TRANCHE DE L'AUTOROUTE A51 : 10,5 KM RELIANT COYNELLE AU COL DU FAU. LA SECTION COMPTE PLUSIEURS OUVRAGES D'ART REMARQUABLES, DONT CELUI DU VIADUC DE MONESTIER-DE-CLERMONT, QUI CONSTITUE UNE RÉUSSITE À PLUS D'UN TITRE. SA CONCEPTION – ET D'ABORD LES FONDATIONS UTILISÉES – A PERMIS DE SURMONTER DES CONTRAINTES GÉOLOGIQUES EXCEPTIONNELLES, TOUT EN FAISANT MONTRE D'UNE INTÉGRATION PAYSAGÈRE REMARQUABLE. LÉGER ET TRANSPARENT, LE VIADUC FRANCHIT LA VALLÉE GLACIAIRE DU FANJARET ET S'ÉLANCE EN UNE LIGNE FINE DEVANT LE MASSIF DU VERCORS.



1



2

“Élégance”, “transparence”, telles sont les caractéristiques du viaduc de Monestier souhaitées par son architecte, Jean-Vincent Berlotier, du cabinet Strates. Solide et majestueux grâce à ses 8 piles en béton, il permet à l’autoroute A 51 de franchir la vallée glaciaire du Fanjaret, avec en arrière-plan la “dentelle” du Vercors. Maillon important de la section Coynelle-col du Fau actuellement en construction sur 10,5 km, l’ouvrage va également délester une partie du trafic de la RN 75 qui traverse aujourd’hui la commune de Monestier-de-Clermont. Long de 860 m, ce viaduc bidirectionnel a été attribué à l’issue d’un concours européen de conception-réalisation à l’entreprise GTM Construction pour un

montant de 33 millions d’euros. La structure se compose de 5 travées courantes de 110 m de portée, et de 4 travées de rive (100 m, 80 m, 70 m et 60 m). Léger, presque aérien, il semble suspendu à 70 m du sol. La présence des bracons renforce l’illusion. Son insertion paysagère dans un site aussi grandiose et la multiplicité des contraintes techniques ont exigé une démarche de conception toute particulière. En effet, l’ouvrage traverse 900 m de brèche et surplombe de nombreux obstacles (RD 110, voie ferrée Grenoble-Veynes, RN 75, VC 5, ruisseau du Fanjaret, RD 8) ainsi que des zones d’argiles molles.

### Cinq types de fondations

“Le viaduc de Monestier est un projet complexe faisant appel à des techniques innovantes – en particulier pour les fondations – compte tenu des contraintes géologiques du sol réellement exceptionnelles”, explique Jacques Martin, directeur de projet pour Scetauroute. En effet, les études géologiques menées en amont dans la vallée ont révélé un contexte compliqué. La vallée glaciaire recèle une couche d’argile molle, nommée “argile varvée du Trièves”,

>>> 1 *Transparence et légèreté définissent le viaduc de Monestier-de-Clermont (38).* 2 *L’ancrage de l’ouvrage s’effectue dans des zones d’argiles molles.* 3 *Une volonté de transparence et de légèreté a guidé le choix de la géométrie des piles du viaduc.* 4 *Quelque 20 000 m<sup>3</sup> de béton ont été nécessaires pour mener à bien le chantier, et 2 600 tonnes d’armatures pour la seule partie “béton”.* 5 *“Rabaissé” par rapport aux appuis, le chevêtre situé en tête ajoute une dimension aérienne au dessin de l’ouvrage.*

qui atteint 75 m de profondeur en milieu de vallée, laquelle est sujette à des risques sismiques et à des glissements de terrain. Ces études ont aussi mis en évidence, une nappe artésienne située à 35 m de profondeur, la présence de calcaire sain au niveau des culées, et celle d’éboulis et de moraines en rives. Ces critères ont déterminé la longueur des travées, le choix du type de fondations ainsi que leur emplacement. Il a alors été décidé de faire reposer le viaduc sur cinq types de fondations différentes. Trois entreprises distinctes spécialisées dans les travaux de fondations ont travaillé en collaboration à leur réalisation. Au nord, c’est-à-dire côté Grenoble, la culée C0 et la pile P1 sont fondées sur puits marocains de 4 m de diamètre. Les deux puits descendent à une profondeur allant de 10 à 14 m, dans un sol composé de formations d’éboulis, de pentes et de moraines surmontant un toit calcaire. La même technique est utilisée sur la culée C9, au sud. En raison de l’affleurement

du rocher, les piles P7 et P8 reposent sur des semelles superficielles de dimensions réduites; leur longueur est de 11 à 15 m, leur largeur de 7,5 à 12 m et leur hauteur de 2 à 2,5 m.

### Tubes forés provisoires et “louvoyeur”

Située dans une zone intermédiaire, la pile P2 est assise sur 6 pieux de 1,5 m de diamètre. Ces pieux doivent descendre à 53 m de profondeur pour atteindre le terrain porteur constitué de calcaires, traversant en amont des formations d’argiles grises et morainiques. Les pieux sont réalisés à l’aide de tubes forés provisoires. “Pour ce faire, nous utilisons un louvoyeur”, précise Sylvain Hayet, conducteur de travaux pour l’entreprise Franki Fondation. Cette machine de 35 tonnes fait tourner chaque tube et l’enfonce dans le sol. La technique est la suivante: une fois le matériel placé autour du tube, un collier entraîné

### chiffres clés

- Longueur : **860 m**
- Hauteur des piles : **entre 20 et 53 m**
- Tablier : **mixte, ossature métallique, hourdis en béton**
- Terrassement : **80 000 m<sup>3</sup>**
- Béton : **20 000 m<sup>3</sup>**
- Armatures passives : **2 600 t**
- Charpentes métalliques : **4 000 t**



3



4



5

hydrauliquement vient le serrer et le fait tourner, et quatre vérins le descendent ensuite progressivement. Le béton est alors coulé et le tube retiré par tronçons. La géologie sous P3 et P4 a révélé un sol argileux gorgé d'eau, ce qui ne laissait entrevoir aucune possibilité d'appuyer l'ouvrage sur un sol dur. Fut alors décidée la réalisation de fondations flottantes semi-profondes. On procède en deux phases : premièrement, on abaisse la nappe phréatique et on terrasse sur une profondeur de 20 m. "Quelques 3 000 m<sup>3</sup> d'argile par pile ont ainsi été enlevés", souligne Patrick Castan, ingénieur, responsable des opérations sur l'A 51 AREA. Puis on vient mettre une couche de grave d'environ 50 cm d'épaisseur. On réalise alors un caisson creux étanche qui permet de rééquilibrer les descentes de charges car le vide à l'intérieur du caisson compense à la fois le poids des piles et du tablier sur les fondations. Cette technique résulte du constat suivant : une pile peut flotter sur le sol si son poids et les charges qu'elle transmet au sol de fondation sont égaux au poids du sol enlevé.

La problématique diffère pour P5 et P6. Situées au cœur de la vallée du Fanjaret, elles bénéficient d'un autre mode de

fondation. L'entreprise a opté pour la technique des "tubes perdus". Enfoncées dans un terrain marno-calcaire à 52 m de profondeur, les piles P5 et P6 reposent respectivement sur 12 et 11 pieux de 1,4 m de diamètre. Seulement dans cette zone de glissement, les argiles molles composant la strate supérieure de la vallée avancent d'environ 5 mm par an. C'est pourquoi, pour éviter ces efforts latéraux sur les fondations, les pieux sont entourés d'une enceinte circulaire de 17 m de diamètre effectuée en paroi moulée (indépendante du reste de l'ouvrage). Cette innovation technique permet d'isoler les piles des mouvements de terrain : en cas de glissement, la paroi bouge sans s'appuyer sur les pieux. "Sans la mise au point de cette technique, les pieux supporteraient de telles contraintes qu'il faudrait envisager des pieux dotés d'armatures très importantes et d'un diamètre réellement supérieur", explique Sylvain Hayet.

### Transparence et légèreté

Le concept architectural de "transparence et de légèreté" a guidé le choix de la géométrie des piles du viaduc, c'est pourquoi les huit piles associent un

technique

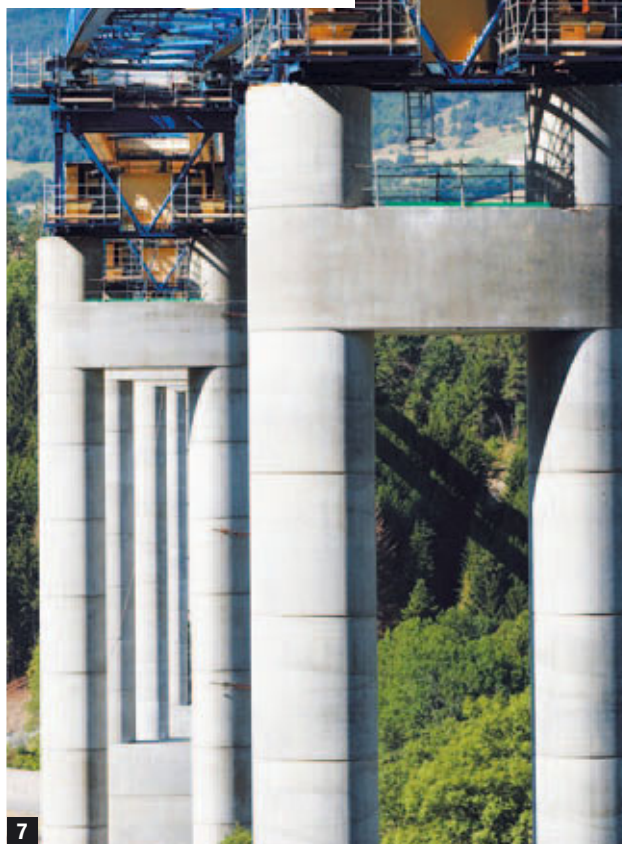
## Paroles d'architecte

**Du pont haubané de Seyselle, en Haute-Savoie, au récent viaduc de Chavanon (A89), en passant par la plupart des ouvrages de l'autoroute A49, Jean-Vincent Berlotier signe de sa griffe de nombreux ouvrages d'art. Une expérience nourrie qui lui permet souvent de trouver "la" réponse au problème. Pour lui, en effet, "chaque difficulté a sa réponse et c'est l'analyse du site qui amène la solution". Alors, quand les débats s'animent autour du viaduc de Monestier, rien de plus naturel aux yeux de Jean-Vincent Berlotier. Car dans un concours conception-réalisation de ce type, "La méthode de travail c'est la discussion".**

**La première contrainte était de résoudre le problème des fondations, la seconde, de rechercher l'ouvrage qui s'insérerait le mieux dans le paysage. Au cœur de ce site mêlant grandeur et majesté, valait-il mieux proposer des structures qui esquivent le contexte géologique et réaliser un ouvrage de très grande portée, ou bien fallait-il résoudre le problème et s'appuyer sur le sol ? La décision fut prise : l'ouvrage ne lutterait pas avec la nature. La seconde proposition a fait l'unanimité et l'a finalement emporté. "Le spectateur aurait-il saisi le pourquoi d'un ouvrage si spectaculaire ?" remarque Jean-Vincent Berlotier. Car le viaduc, en effet, ne franchit aucun glacier ni aucun canyon et un problème de fondation ne se voit pas à l'œil nu. Et de plus, les "anciens", en réalisant une succession de viaducs sur une ligne de chemin de fer historique, ont déjà montré qu'ils avaient résolu le problème du site.**



6



7



8

➤➤➤ **6** La ligne fine et aérienne des huit piles permet au viaduc de se fondre dans le relief du Vercors. **7** Les piles sont constituées de deux fûts creux reposant sur une embase de forme elliptique. **8** La lumière s'infiltré dans l'entre-jambe des piles, donnant ainsi à l'ouvrage sa transparence. **9** Tout en finesse, l'ouvrage s'inscrit parfaitement dans le décor.

cerle et une ellipse. Elles sont constituées de deux fûts creux reposant sur une embase de forme elliptique, les fûts étant reliés en partie haute par un chevêtre plein de 3 m de hauteur.

Les bracons longitudinaux et entretoisés en V à partir de chaque appui permettent de réduire la hauteur des poutres porteuses d'une part et d'augmenter la portée du tablier d'autre part. L'ensemble devient alors symbole de légèreté. Comme le confirme Jean-Vincent Berlottier, "le chevêtre en tête n'est pas directement sous les appuis, mais il a

été rabaissé, ce qui donne beaucoup de légèreté dans la prise de possession de l'espace. C'est un ouvrage volontairement aérien." La lumière s'infiltré dans l'entre-jambe des piles, donnant cette dimension de transparence.

### Géologie inspiratrice

Mais la légèreté ne se veut pas qu'illusion. La géologie du site a également influencé le choix du tablier. "Le besoin de légèreté qui s'est imposé de par la nature des sols nous a fait opter pour

une solution mixte", explique Patrick Castan. Quelque 20 000 m<sup>3</sup> de béton ont été nécessaires pour mener à bien le chantier, et 2 600 tonnes d'armatures uniquement dédiées à la partie béton. Une fois les bracons achevés, la structure bipoutre a été revêtue de dalles préfabriquées en béton armé portant la future chaussée.

Le marché du viaduc ayant été signé en janvier 2003, les travaux devraient se terminer en septembre 2006. Bientôt transformé en une ligne fine et transparente, il viendra se perdre dans le relief du Vercors et avec lui s'achèvera une étape décisive de l'A51. ■

TEXTE : JUSTINE LEMOIGNE

PHOTOS : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO



**Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre :**  
AREA-Société des autoroutes  
Rhône-Alpes  
Maîtrise d'œuvre générale et assistance à maîtrise d'ouvrage :  
Scetauroute

**Entreprises :**  
Groupement GTM GCS,  
mandataire et maître d'œuvre  
particulier  
Cotraitants :  
Baudin-Châteauneuf (charpente  
métallique), Ingérop (études  
techniques générales  
de l'ouvrage), GTM Construction  
(études des appuis)  
Mecasol (études  
géotechniques), Strates  
(architecte) et Paysage Plus  
(paysagiste)

**Coût prévisionnel total :**  
**33 M€ HT**  
(comprenant l'ouvrage  
de franchissement de la RD 110)



9





chiffres clés

**Procédé Terre armée**

- Surface totale : **31 000 m<sup>2</sup>**
- Volume remblai : **230 000 m<sup>3</sup>**
- Lanières métalliques : **63 000** unités soit l'équivalent de **500 km**
- Cadence de travail moyenne : **100 m<sup>2</sup>/jour**
- Parements : **écailles architectoniques matrice "Cheyenne"** reproduisant les affleurements rocheux locaux

**Procédé murs cloués**

- Surface totale : **15 000 m<sup>2</sup>**
- Clous : **5 500** unités soit l'équivalent de **40 km**
- Cadence de travail moyenne : **40 m<sup>2</sup>/jour** (terrassment compris)
- Parements :
  - **gabions métalliques** remplis de roches couleur locale
  - **béton projeté lissé ou taloché**

## → Quand l'autoroute entre dans ses murs

La construction de l'autoroute A51 et le rétablissement des voiries locales nécessitent la réalisation d'ouvrages d'art exceptionnels et l'élévation de murs de soutènement d'une surface de quelque 46 000 m<sup>2</sup>. Il s'agit tout simplement de l'un des plus grands chantiers de murs en Europe.

**S**inueux car montagneux, le tracé de l'autoroute A51 poursuit son avancement. Les premières couches de forme de la future autoroute se succèdent, et avec elles le rétablissement progressif des voiries locales dans leur configuration définitive. Pour mener à bien ces opérations, il est nécessaire de construire 46 000 m<sup>2</sup> de murs de soutènement sur 5 km. Comme n'hésite pas à le dire Patrick Castan, responsable des opérations pour AREA, "il s'agit de l'un des

*plus grands chantiers actuels de murs en Europe.*" La nécessité de tels ouvrages s'explique notamment par l'exiguïté de la vallée et la grande proximité de l'A51 avec la RD 110. Sur ces terrains alpins et compte tenu des emprises étroites sur tout le linéaire, où alternent des sols meubles et rocheux, il a fallu définir plusieurs sites de construction distincts. Dans la montée des Marceaux, l'A51 s'inscrit à flanc de coteau, parallèlement à la RD 110 qu'il a fallu déplacer en plu-

sieurs points. Ici, la plate-forme est en remblai et la construction des murs permet de réduire son emprise au sol.

### À flanc de versant...

Plus au sud, sous le collet de Sinard, le tracé de l'autoroute s'inscrit à flanc de versant et plusieurs murs de soutènement sont nécessaires pour pouvoir rétablir la RD 110. Enfin, chacune des têtes du tunnel de Sinard comporte également

une importante zone de murs. La tête nord, basée sur une implantation en terrasse, s'intègre plus facilement dans la végétation naturelle, et la tête sud se fond dans l'inclinaison des calcaires et dans le faciès feuillé qui domine.

### Murs en Terre armée

La solution technique retenue pour la zone des Marceaux est celle des murs en sol renforcé de type Terre armée. La méthode consiste à "armer" un remblai avec des armatures métalliques ou synthétiques. Ainsi renforcé, le mur devient son propre soutènement, et en face extérieure, il est habillé d'un parement en éléments préfabriqués. Cette technique offre de nombreux avantages. Entre autres, celui de réaliser des ouvrages en terrains compressibles ou sur des pentes plus ou moins stables.

Un traitement architectural particulier a été apporté à cette zone. En effet, ces murs d'une hauteur variant entre 18 et 22 m sont constitués de parements "à écailles en béton matricé", l'effet venant rappeler la teinte sombre et la texture des calcaires marneux de la région. L'assise des premières écailles est constituée d'une semelle de fondation en béton coulée sur le sol. Les armatures liaisonnées au parement par des systèmes d'attache sont noyées dans un remblai mis en œuvre et compacté par couches successives d'une épaisseur d'environ 35 cm. Fixées au parement vertical du mur, des lanières sont disposées sur chacune de ces couches. Ces lanières, grâce au frottement avec le sol, maintiennent la terre en place. En ce qui concerne les murs de la zone des Marceaux, les écailles ont été fabriquées industriellement à l'aide d'un ciment prise mer (PM), afin de mieux garantir leur résistance au gel et aux sels de déverglaçage.

### Murs cloués

Les murs de soutènement dits "cloués" sont réalisés dans les zones de déblai. Ils sont construits du haut vers le bas par

passes successives de terrassement d'environ 1 m de hauteur. La zone est ensuite protégée par un béton projeté associé à un treillis soudé et stabilisé par clouage. Dans la zone étroite du Sinard, on observe deux murs cloués. Le principal atteint 250 m de long et 25 m de haut et il est construit en terrasses successives de 6 m de haut. Le parement est constitué de gabions, procédé d'engrillage de roches locales évoquant les murs de pierres sèches traditionnelles. De part et d'autre du tunnel, ont également été construits quelque 5 500 m<sup>2</sup> de murs cloués. La tête nord est équipée de murs en terrasses avec des parements matricés, dont la forme traduit l'inclinaison et les failles naturelles du calcaire existant. La réalisation de ces murs de soutènement vient de s'achever. ■

TEXTE : JUSTINE LEMOIGNE

PHOTO D'OUVERTURE : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO, 1, 2 ET 3, DR



**Maître d'ouvrage :**  
AREA – Société des autoroutes Rhône-Alpes

**Maître d'œuvre :**  
Scetauroute

**Murs en Terre armée :**  
31 000 m<sup>2</sup>  
Groupement Guintoli-Bianco-GTS-TerreArmée.

**Murs cloués – section courante :**  
9 500 m<sup>2</sup>  
Groupement Guintoli-Bianco-GTS

**Murs cloués – tête du tunnel de Sinard**  
5 500 m<sup>2</sup>  
Groupement Bianco-Caron-GTS  
Groupement Bec-Cari

---

**Coût prévisionnel**  
**12 M€ HT**



>>> **1** Une grande partie des murs de soutènement de l'A51 sont en Terre armée. **2** Cette solution technique permet la réalisation d'ouvrages situés dans des pentes instables ou sur des terrains compressibles. **3** Un traitement architectural particulier a été apporté aux murs en Terre armée : des écailles préfabriquées matricées rappellent la texture calcaire du lieu.

# Construire des ponts sans gêner le trafic

>>> LES GESTES TECHNIQUES AUDACIEUX N'ONT PLUS DE SECRETS

POUR LES LECTEURS DE *CONSTRUCTION MODERNE*. LES EXEMPLES DE

CHANTIERS MENÉS DANS DES CONDITIONS DIFFICILES ET/OU DES DÉLAIS

RECORD Y SONT NOMBREUX. MAIS IL EST DES MAÎTRES D'OUVRAGE POUR

LESQUELS LE DÉFI EST UNE OBLIGATION PERMANENTE. C'EST LE CAS

DE RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE, TRÈS SENSIBLE AUX TECHNIQUES PERMETTANT

UNE RÉALISATION RAPIDE DES OUVRAGES, AVEC UNE PERTURBATION

MINIMALE DU TRAFIC, CELUI DE LA VOIE FERRÉE ELLE-MÊME... OU CELUI

DE L'AXE QU'ELLE FRANCHIT. POUR AUTANT, LES SOLUTIONS DE MISE

EN PLACE RAPIDE SONT POTENTIELLEMENT UTILISABLES POUR

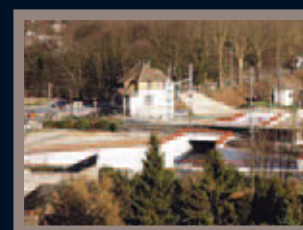
DE NOMBREUX OUVRAGES ET SONT DONC PROMISES À UN BEL AVENIR.



## → Rouen

Un pont-rail mis en place par autoripage

p. 22



## → Saint-Pierre-du-Vauvray

Un petit pont "flotté"

p. 23



## → Oise

Deux demi-tabliers mis en place par poussage

p. 23



## → Puget-Théniers

Mise en place par rotation pour un pont-route sur le Var

p. 24

## → Des enjeux à la fois techniques et économiques

**P**RINCIPAL PRESCRIPTEUR DES MÉTHODES DE MISE EN ŒUVRE RAPIDE DES OUVRAGES D'ART, LE MAÎTRE D'OUVRAGE RFF VISE AVANT TOUT LA CONTINUITÉ DU TRAFIC POUR L'EXPLOITANT DU RÉSEAU, LA SNCF. MAIS D'AUTRES MAÎTRES D'OUVRAGE PEUVENT SE MONTRER SENSIBLES AUX CHARMES DE LA VITESSE... D'EXÉCUTION.

**U**n pont mis en place en un week-end... Réseau Ferré de France (RFF), l'entité en charge de l'infrastructure ferroviaire française, est l'un des maîtres d'ouvrage les plus attentifs aux solutions de mise en œuvre rapide des ouvrages d'art. Dans le cas du réseau ferré, en effet, les interventions ont des conséquences particulièrement sévères, à plusieurs niveaux. Fréquence des trains oblige, on ne condamne pas facilement les voies, et le basculement d'une voie sur une autre pose d'évidents problèmes d'appareillage (disposition des aiguillages et amont et en aval de la déviation, longueur du tronçon parcouru à contresens), de sécurité pour les trains (passage en "voie unique", res-

pect des rayons de courbure, planéité scrupuleuse des rails) et pour le personnel présent sur le chantier, de continuité du trafic et de moindre gêne pour l'utilisateur, mais aussi, bien sûr, d'économie.

Concernant les opérations liées à la maintenance, l'enjeu est double. D'une part, interrompre la circulation pendant quelques mois oblige à mettre en place un service de remplacement par cars, avec à la clé le mécontentement assuré de l'utilisateur. D'autre part, c'est une importante perte en revenus d'exploitation qui vient s'ajouter au coût global de l'ouvrage, si les travaux durent trop longtemps. Les contraintes sont donc très lourdes, et le gain économique d'une remise en service très rapide des voies se justifie pleinement. D'autant que pour couper la voie, planning oblige, il faut s'y prendre 12 à 18 mois à l'avance... "On connaît déjà le week-end de mise en place de l'ouvrage dès la publication de l'appel d'offres", explique Gérard Lebailly, expert technique auprès de RFF. "L'entreprise sait qu'elle devra composer avec cette fenêtre fixe du calendrier quoi qu'il arrive."

### Les lignes à grande vitesse d'abord

Mais la mise en place rapide des ouvrages ferroviaires concerne d'abord les travaux neufs. Actuellement en chantier, la LGV Est européenne représente à elle seule

quelque 300 km de ligne à réaliser en deux saisons sèches pour les lots de terrassement. Ce qui laisse peu de temps pour la réalisation et la mise en place des ouvrages. "Un ouvrage d'art courant, c'est 12 à 18 mois de travaux quelle que soit sa longueur, complète Gérard Lebailly. Un ouvrage exceptionnel, c'est à peine davantage : 28 ou 29 mois." Or une LGV compte un ouvrage tous les 800 m (335 au total sur les 300 km de la LGV, elle-même divisée en lots de 30 km). Les entreprises, on l'aura compris, sont à la recherche de solutions rapides, d'autant que la mise en place rapide des ouvrages contribue elle-même à faciliter les travaux de terrassement (mouvement des terres possible d'un emprunt à un dépôt situés de part et d'autre d'un ouvrage).

### Cas des ouvrages monoblocs

Les ouvrages de petites dimensions ne posent guère de problèmes : les éléments sont tout simplement coulés en place ou réalisés en éléments préfabriqués en béton. Pour des ouvrages de plus grande importance, le tablier est conçu en poutres préfabriquées en usine, et donc construites en "temps masqué", parallèlement aux autres phases du chantier. Mais il existe aussi des ouvrages "monoblocs". "Cette solution est retenue





technique

## Dernières évolutions de la méthode JMB®

Les deux dernières innovations apportées à la technique de l'Autoripage® développée par JMB Méthodes, qui ont toutes deux reçues le label "IVOR", concernent:

- d'une part le passage des câbles de traction entre le radier du cadre qui avance et le radier du cadre fixe. Cette solution permet de faire travailler le béton en compression, à la fois côté ancrage passif et côté ancrage actif. Il est ainsi possible de riper des ouvrages de n'importe quel poids ou présentant des biais importants;
- d'autre part le remplacement des perrés traditionnels par des bracons inclinés à 45° supportant les travées de rive. Cette solution évite le remblaiement, toujours long et délicat (risques de tassement ultérieur des voies) aux abords de l'ouvrage et permet de supprimer les dalles de transition, dont la réalisation est une condition supplémentaire au rétablissement de la circulation, et des murs en aile.

L'un des ouvrages de référence en matière d'Autoripage® est le passage de l'A77 sous les voies ferrées Paris Clermont-Ferrand à Boismorand (Loiret). Construit sous maîtrise d'œuvre SNCF Paris-Lyon par Demathieu et Bard, ce pont d'un poids total de 5 600 tonnes (biais 45°, longueur du tablier 100 m) a été réalisé à côté des voies à franchir puis ripé à son emplacement définitif.

Autre exemple, cette fois en Autofonçage®, l'échangeur du périphérique de Tours sous l'A10, (Cofiroute et Campenon Bernard). La circulation était basculée sur un seul côté de l'autoroute le lundi à 8 heures. Le vendredi à midi de la même semaine le demi-ouvrage était en place et la voie neutralisée était rendue à la circulation (six demi-ponts = six semaines).

>>> **Fond du Val** – 1 La mise en place de l'ouvrage par le procédé JMB Méthodes a exigé l'évacuation de 15 000 m<sup>3</sup> de remblai pour un déplacement de 26 mètres. 2 Le système de traction par câbles permet de riper des ouvrages de tout poids. **Bayonne** – 3 Mise en place par rotation pour le tablier de cet ouvrage situé sur la RN 10, sans interruption majeure du trafic routier.

dans le cas des franchissements de concessions, notamment les franchissements d'autoroutes, poursuit l'expert technique. Ce fut le cas du passage inférieur de Zouafques, dans le Pas-de-Calais, sous l'autoroute A26. On l'utilise aussi en passage inférieur de voies ferrées, comme nous l'avons fait près d'Arras par exemple, sous la ligne Paris-Lille, lors de la construction de la LGV Nord. "Autant d'illustrations de la technique brevetée par Jean-Marie Beauthier sous le nom de JMB Méthodes®, avec mise en place de l'ouvrage en... 48 heures. L'ouvrage monobloc est alors construit à côté de la voie et mis en place ensuite par translation (franchissement de la ligne Épernay-Reims par la LGV Est), mais le cas existe où deux demi-ponts sont construits de part et d'autre de la ligne et rapprochés ensuite.

La méthode JMB, d'ailleurs, connaît des évolutions. "À l'origine, on ne poussait que des cadres, maintenant on peut pousser des ouvrages complets, avec les perrés [soutènements latéraux, voir encadré ci-contre], détaille Gérard Lebaillly. Il est encore possible d'imaginer un fonçage [la voie ferrée repose alors sur des appuis provisoires pendant la construction de l'ouvrage définitif, voir encadré "JMB"], mais le problème de la préservation de la capacité de la voie reste important. La méthode du poussage est privilégiée par RFF, qu'il s'agisse de route

'sur' voie ou 'sous' voie." Mais le principal reste bien que le lot soit terminé à l'heure pour que l'installation (600 m de caténaire par jour) soit faite à son tour dans les délais. Et Gérard Lebaillly ne dissimule pas l'exigence du maître d'ouvrage : "Le planificateur de RFF vise une mise en service de la LGV en juin 2007. Et il surveille son calendrier de très près..." Les chantiers rondement menés sont donc les bienvenus.

### Les autoroutes aussi

Reste que RFF n'est pas l'unique prescripteur des solutions de mise en œuvre rapide. D'autres situations urgentes peuvent se présenter, comme la nécessité de mener le chantier dans le lit d'un fleuve ou plus simplement la volonté de ne pas perturber durablement le trafic sur un grand axe routier. Car l'interruption totale du trafic n'est pas le seul écueil des chantiers menés sur des axes de circulation. Les basculements et autres réductions de capacité ont aussi de fâcheuses conséquences au niveau de la sécurité des automobilistes, souvent victimes de ces déviations génératrices de nombreux accidents. ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : DR

interview

## « Deux procédés records en rapidité et fiabilité »

La translation rapide des ouvrages d'art doit beaucoup à Jean-Marie Beauthier, inventeur de l'Autofonçage® puis de l'Autoripage®, méthodes qui comptent déjà une centaine d'illustrations de par le monde.

### *Pourquoi des techniques de translation rapides ?*

**Jean-Marie Beauthier :** Prenons l'exemple du pont de Louvres dans le Val-d'Oise pour le passage de la Francilienne sous les voies ferrées Paris-Lille et la ligne D du RER (256 trains par jour !). La solution de base, c'est-à-dire la construction en place de l'ouvrage, par phasage, demandait environ neuf mois de ralentissement des trains. Le coût estimé de ces ralentissements dépassant les 2 millions d'euros, la solution par Autofonçage®, plus chère d'environ 300 000 euros à l'ouverture des offres, a permis une économie finale de 1 830 000 euros. L'explication de ces frais de ralentissement tient à la fois à la surconsommation de courant lorsque les trains réaccélérent et aux perturbations du trafic engendrées par les pertes de temps liées aux ralentissements.

### *Quelle était la méthode de base ?*

**J.-M. B. :** La construction traditionnelle d'ouvrages sous voies ferrées consiste d'abord à poser des tabliers auxiliaires (TA) selon le phasage suivant : coupe et enlèvement des voies ; terrassement pour l'encoffrement des TA et des camarteaux (dalle béton préfabriquée posée soit directement sur le terrain en place, soit sur micro-pieux, soit encore sur colonnes de "jet grouting" ; pose de ces TA sur appuis fixés au milieu des camarteaux ; et enfin repose des rails. Les terrassements peuvent alors commencer sous les TA avec une pente des talus à 1/1. On construit alors la semelle puis la culée ou la palée correspondante. Il faut ensuite remblayer derrière la culée, opération très délicate, souvent déplacer

longitudinalement le TA, et recommencer l'opération jusqu'à terminaison des appuis. Les tabliers définitifs sont généralement construits sur des palées à côté des voies et mis en place par ripage en remplacement des TA. Il est bien évident que la construction d'un ouvrage sous voies exploitées est un facteur de risques graves pour le personnel, qu'elle engendre une perte de rendement, qu'elle allonge les délais de construction de l'ouvrage, et bien sûr qu'elle perturbe fortement le trafic ferroviaire. En outre, la SNCF doit assurer journalièrement la surveillance des camarteaux et des TA tout au long de la réalisation de l'ouvrage.

### *Quelle variante avez-vous proposée ?*

**J.-M. B. :** Dans le dossier d'appel d'offres, l'ouvrage comportait deux culées et deux tabliers isostatiques en métal. Nous nous sommes rapprochés des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et de l'architecte, et l'autorisation nous a été accordée d'ajouter une palée centrale. De ce fait, nous avons remplacé les tabliers métalliques par quatre quarts de cadre en béton armé, construits par paires de chaque côté des voies. Aucune perturbation du trafic n'a eu lieu durant la construction des radiers de guidage et des quatre cadres. Nous avons ensuite procédé à l'enfilage des câbles de traction et au montage des vérins. En un week-end, quatre TA ont été posés, un par voie, axés sur deux quarts de cadre opposés. En une semaine, l'Autofonçage® des demi-cadres a été réalisé. Le week-end suivant, ripage longitudinal des quatre TA, la semaine suivante, Autofonçage® des deux autres cadres puis, le troisième week-end, enlèvement des TA. Ainsi nous n'avons

perturbé le trafic que deux semaines au lieu de neuf à dix mois.

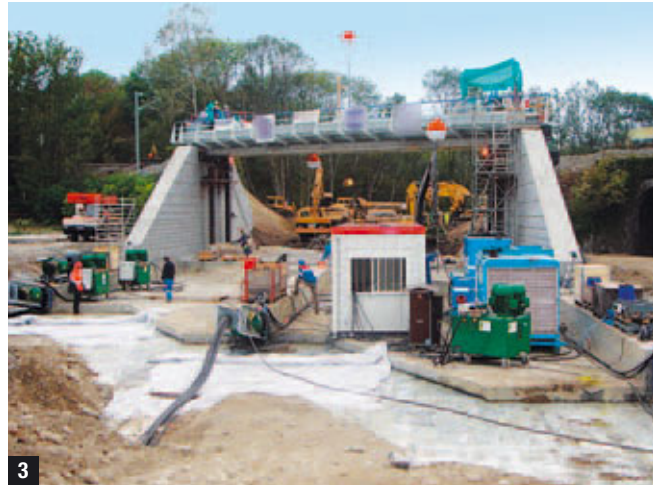
### *Qu'en est-il du terrain traversé ?*

**J.-M. B. :** Nous avons traversé tous les types de terrain. Le principe de l'Autofonçage® étant "terrasser puis avancer", les obstacles éventuellement rencontrés sont démolis à l'avancement. Notre vitesse moyenne en face d'un front de taille total est de l'ordre de 50 cm à l'heure. Pour un front de taille en partie dégagé, on peut monter à 3 m/h.

### *Quel est l'avantage majeur des méthodes d'Autofonçage® et d'Autoripage® ?*

**J.-M. B. :** Le glissement à même le sol. La pression apportée par ce type d'ouvrage sur le sol est très faible, de l'ordre de 0,4-0,5 bar pour les ponts cadre et de 0,6-0,8 bar pour les ouvrages avec travées d'approche. Nous passons donc sur n'importe quel type de terrain, ce qui n'est pas le cas des systèmes sur longrines qui apportent une pression au sol beaucoup plus importante. Lors de la mise en place d'un ouvrage d'art, nous n'avons pas à poser ni à régler des longrines de ripage. Et comme nous talonnons les pelles qui terrassent dès qu'elles ont terminé, il en est de même pour le ripage de l'ouvrage. En conclusion, même si avec les systèmes sur longrines la vitesse de déplacement des ouvrages peut être plus importante, nous sommes toujours plus rapides au final car nous n'avons ni longrines ni matériel de ripage à poser et à déposer, ce qui, ajouté à la faible pression sur le sol apportée par nos ouvrages, fait de nos deux procédés les systèmes les plus rapides et les plus fiables actuellement.

Propos recueillis par Philippe François



**>>> Thaon-les-Vosges (88) – 1 et 2**

*Le pont-rail de Thaon-les-Vosges a été mis en place en une coupure totale de 24 h par autoripage® avec travées d'approche. Les travaux ont consisté en : construction du radier de guidage ; construction de l'ouvrage avec travées d'approche ; durant la coupure : terrassements pour "encoffrement" de l'ouvrage dans le remblai ferroviaire ; autoripage® de l'ouvrage à une vitesse de 12 ml/h, remplissage avec béton autoplaçant des interstices entre l'intrados des bracons et le remblai ferroviaire ; le tablier étant préballasté, repose des voies.*

**Thonon-les-Bains (74) – 3, 4 et 5**

*Autofonçage® et autoripage® associés. Problèmes essentiels : présence d'un ponceau en maçonnerie à démolir partiellement ; présence juste à côté du nouvel ouvrage d'un pont-rail en maçonnerie voûté. Il a donc fallu conserver les terres de chaque côté des culées de cet ouvrage pour ne pas déstabiliser la poussée des terres. Biais important : 51,597°. Ouvrage ripé en pente de 2%. Portée droite 18 m ; biaise, 22,96 m.*



5

## → Quatre ouvrages, quatre méthodes de mise en œuvre

Les méthodes de mise en place rapide des ouvrages d'art sont nombreuses. Les entreprises Quille et Razel explorent des solutions originales. Illustrations.



PONT DU FOND-DU-VAL À ROUEN (SEINE-MARITIME)

### → "Classique" autoripage

Ce pont-caisson extrêmement lourd (6 500 tonnes pour 60 m de longueur entre appuis) a été créé pour permettre le passage de la ligne de bus TEOR (Transport Est-Ouest Rouennais) sous la ligne SNCF Paris-Rouen-Le Havre. (La ligne TEOR vise à favoriser les déplacements d'est en ouest dans l'agglomération rouennaise, tout en faisant appel à un système original de véhicules sur pneus avec guidage optique – à mi-chemin entre tramway et bus – avec aménagement partiel en site propre.) Le tablier-caisson repose sur deux culées fondées sur des barrettes. La technique de l'autoripage (brevet JMB Méthodes) a été retenue

pour sa mise en place (le déplacement étant de 26 m). L'une des difficultés majeures consistait à évacuer les 15 000 m<sup>3</sup> de remblai en l'espace de 24 heures. "Le plus grand problème est venu du terrain, explique Jean-Claude Ferté, directeur du développement technique chez Quille à Rouen. Le risque de tassement était important." Au final, un très léger tassement a été observé et "récupéré".

Les travaux ont exigé une interruption totale du trafic ferroviaire, la continuité du service étant assurée par un service de cars. Au total, 60 heures de coupure ont été nécessaires à la mise en place de l'ouvrage en béton précontraint (circulation coupée le vendredi à 0 heure pour une réouverture le lundi à 15 heures). La dépose des voies s'est effectuée en 6 heures, le ripage proprement dit en 11 heures. La repose des

voies a pris 9 heures. Des accéléromètres ont été disposés en différents points de l'ouvrage, ainsi que des jauges de déformations pour s'assurer que les efforts n'étaient pas trop importants. "Précisons que l'on poussait les deux culées et le tablier, sans aucun écartement possible entre les culées, reprend Jean-Claude Ferté. Il fallait donc contrôler la trajectoire en général et la position des éléments les uns par rapport aux autres. La SNCF s'est dite parfaitement satisfaite de l'ouvrage et de la technique utilisée pour sa mise en place."

PHOTOS : DR

Maître d'ouvrage : RFF

Maître d'œuvre : SNCF

Entreprise : Quille

Direction technique : Quille et JMB Méthodes





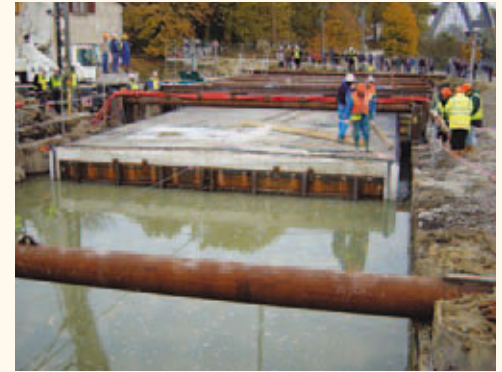
PONT SNCF "PN 30" À SAINT-PIERRE-DU-VAUVRAY (EURE)

## → Pont "flotté"

Le procédé d'autoripage suggéré dans l'appel d'offres s'est finalement transformé en une mise en place par flottaison pour ce portique fermé à gabarit réduit. Deux étapes de terrassement ont été effectuées avec réalisation d'une enceinte en palplanches. L'ouvrage, un "tube de béton" de 2,90 m et de 900 tonnes, fut "fermé" le temps des travaux par deux portes métalliques étanches. Après terrassement de la seconde partie sous les voies, l'enceinte a été mise en eau. "Le pont

s'est ainsi mis à flotter et l'ouvrage a pu être avec déplacé avec un simple tire-fort, explique Jean-Yves Souply, responsable du service Méthodes de l'entreprise Quille à Rouen. Une fois l'ouvrage au droit de sa position définitive, l'enceinte a été vidée et l'ouvrage s'est échoué dans le fond." Le trafic SNCF a été interrompu pendant un jour et demi.

Les seules contraintes d'utilisation de cette technique sont liées à la configuration du terrain – le sol doit être imperméable – et bien sûr à la disponibilité en eau. En l'occurrence, c'est l'eau de la Seine, distante de 150 m seulement, qui a été pompée (2 000 m<sup>3</sup>) puis renvoyée dans le fleuve après mise en place de l'ouvrage. "Dès



lors que le besoin en eau est satisfait, le besoin en énergie pour le déplacement est très faible, poursuit Jean-Yves Souply. Le déplacement a pris une heure, pour une interruption du trafic de 22 heures au total, y compris le terrassement, la mise en eau et la remise en place des voies." Ce procédé est aussi le plus économique quand l'eau est disponible facilement, et les premiers travaux de ce genre remontent aux années 60.

PHOTOS: DR

Maître d'ouvrage: RFF

Maître d'œuvre: SNCF Normandie

Entreprise: Quille-Eiffage TP

Direction technique: Quille-Eiffage TP

FRANCHISSEMENT ROUTIER (RD 200) SUR L'A1 DANS L'OISE

## → Pont "poussé"

Un chantier réalisé en 2003, avec l'objectif de ne pas interrompre le trafic sur l'autoroute A1. L'ouvrage a été réalisé en deux tronçons à l'arrière des culées. Chaque demi-tablier pèse 750 t, et la travée centrale atteint 43 m. Les deux demi-tabliers (des caissons précontraints) ont été poussés chacun vers le centre, après réalisation des piles sur les deux bandes d'arrêt d'urgence. "En théorie, l'ouvrage est autostable, mais une masse de 50 t a été ajoutée, par sécurité, à l'arrière de chaque demi-tablier pendant le poussage", précise Jean-Yves Souply.

L'absence de pile centrale a éliminé les problèmes de circulation et le poussage a été mené en deux jours. Des câbles de précontrainte fixés sur la culée et à l'arrière du tablier permettaient de déplacer les ouvrages à l'aide de vérins. Lors de la seconde journée de poussage, de nuit, le trafic a été transféré dans le sens opposé (l'autoroute à 2x3 voies a été réduite temporairement à 2x2 voies). Pendant la phase de clavage, le trafic a été interrompu sur les deux voies rapides, mais là encore, la circulation n'a pas subi de vraie interruption.

PHOTOS: DR

Maître d'ouvrage: conseil général de l'Oise

Maître d'œuvre: dir. départ. des Infrastructures de l'Oise

Entreprise: groupement Quille-Spie





PONT-ROUTE DE PUGET-THÉNIERS (ALPES-MARITIMES)

→ Pont "tourné"

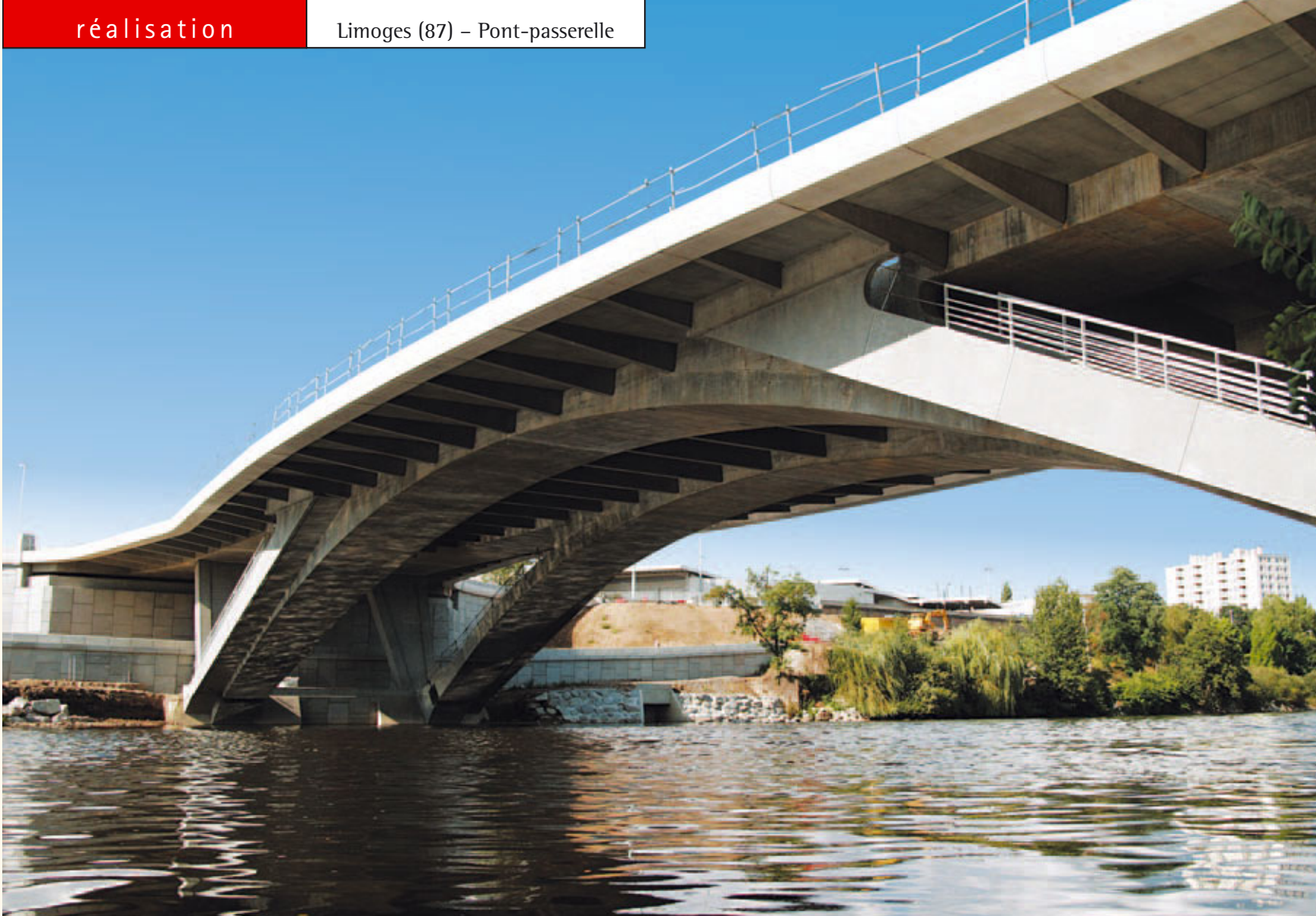
Il a été décidé de remplacer le vieux pont métallique qui franchit le Var par un pont plus large, d'une seule travée de 70 m de long. La solution retenue est celle d'un pont à haubans avec une petite travée arrière. Le projet de base prévoyait un coulage sur cintre dans le lit du Var, opération possible durant les trois mois d'été, quand l'éventualité d'une crue du cours d'eau est très faible. Mais la succession des opérations (endiguement, mise en place du cintre, coulage) ne laisse que peu de marge et le risque demeure élevé. "Pour s'affranchir de cette contrainte, nous avons décidé de construire le tablier sur la rive parallèlement à la rivière, explique Michel Placidi, directeur technique de l'entreprise Razel. Une fois le tablier terminé et après mise en tension des haubans, nous avons tout simplement tourné l'ensemble." Le pylône repose ainsi sur deux appuis, l'un servant d'axe de rotation, l'autre glis-

sant sur une longrine circulaire. "Un troisième appui aurait été nécessaire mais nous avons choisi de le supprimer en procédant à un équilibrage précis du fléau avant rotation, complète le directeur technique. Ce choix technique a imposé une mesure et un pesage exacts de la structure pour situer précisément le centre de gravité de l'ensemble." Au final, l'ouvrage de 85 m de long et 30 m de haut, d'un poids total de 3 000 t, a été tourné en 4 heures. La construction, quant à elle, a pris 6 mois. "Délivrés de l'impératif de délai, nous avons pu travailler dans des conditions classiques et en toute sécurité pour les ouvriers", conclut Michel Placidi. Tout en respectant l'enveloppe budgétaire de base... Cette technique de mise en œuvre est aussi utilisable pour le franchissement des voies routières, autoroutières et ferroviaires sans interruption du trafic.

PHOTOS : DR

**Maître d'ouvrage :** Conseil général des Alpes-Maritimes  
**Architecte :** Laurent Barbier  
**Entreprise :** Razel  
**BET :** SETRA





# Quand l'élégance est fille de complexité

>>> LE PONT DU CLOS-MOREAU, QUATRIÈME OUVRAGE À ENJAMBER LA VIENNE À LIMOGES, NE SE DISTINGUE PAS PAR SES DIMENSIONS EXCEPTIONNELLES. MAIS IL ÉCHAPPE DE LOIN À L'ORDINAIRE GRÂCE À LA LIGNE PURE DE SON ARC SOUS-TENDU ET À L'HARMONIE PARFAITE DE SA GÉOMÉTRIE. LA BELLE SIMPLICITÉ DU RÉSULTAT DÉCOULE D'UNE COLLABORATION EN PARFAITE INTELLIGENCE ENTRE ARCHITECTES, CONCEPTEURS ET RESPONSABLES DE L'ENTREPRISE ET D'UN TRAVAIL DE CONCEPTION ET DE RÉALISATION EXCEPTIONNELLEMENT COMPLEXE. ET QUAND LE PASSANT S'ÉMERVEILLERA DE SES REFLETS DANS L'EAU, L'AMATEUR DE TECHNIQUE LIRA CES LIGNES...



1

Comme une traversée express de l'espace-temps, sur un ouvrage en arc d'une légèreté et d'une finesse architecturale hors du commun... Au débouché du carrefour du Clos-Moreau, face au nouveau pont de la liaison sud de Limoges, s'affichent les signes urbains d'un nœud routier emprunté quotidiennement par plus de 25 000 véhicules. À l'autre extrémité de l'ouvrage, à l'inverse, zones boisées et vastes prairies vallonnées définissent la rive gauche, moins élevée et donc plus propice à l'étalement du lit majeur.

La bonne gestion architecturale de ce contraste et le passage de l'urbain vers la campagne ont pris une place importante dans le choix du projet finalement retenu par le maître d'ouvrage de ce quatrième pont sur la Vienne, la communauté d'agglomération Limoges Métropole. Carole

Cheucle, directrice adjointe de l'espace public de la communauté d'agglomération, la met d'ailleurs en avant dans les raisons de ce choix parmi les cinq candidatures présentées au concours en mai 2000. Cet ouvrage étant destiné à assurer le développement économique du sud de l'agglomération, l'attention du jury s'est portée sur une solution respectueuse des délais de construction et du coût global, avec l'avantage d'un dessin original qui met la Vienne en valeur et s'intègre parfaitement dans le site.

### Un choix pratique et esthétique

Hormis le projet adjudicataire, concourraient un tablier à double caisson mixte acier-béton à quatre travées continues, un monocaisson acier et dalle béton, et deux ponts à arc métallique encastrés sur culées. Les deux premiers avaient aux yeux du maître d'ouvrage le défaut d'implanter des piles dans le fleuve, ce qui exposait celui-ci à des risques d'embâcle en période froide. Quant aux structures métalliques, il est apparu qu'elles relevaient d'une esthétique plus ferroviaire que routière et n'offraient pas l'indispensable harmonie avec la nature ambivalente du site et la dissymétrie du relief. Par ailleurs, tant pour l'entretien que pour la maintenance, le projet tout béton présentait de meilleures garanties. Car la solution retenue avait aussi l'avantage d'utiliser les matériaux locaux.

L'ouvrage présenté par l'équipe Cabinet Lavigne/Chéron (architecte), Jean Muller International (maîtrise d'œuvre de conception) et Michel Virlogeux (conception) a séduit d'emblée. Ce pont en béton armé et précontraint de 165 m de long, constitué de deux nervures indépendantes (amont et aval) en béton précontraint reposant sur deux arcs en béton armé (reposant eux-mêmes sur des massifs de fondation en béton par l'intermédiaire d'appareils d'appui), de deux contre-béquilles et d'une pile, offrait des facilités de mise en œuvre ainsi qu'une garantie de durabilité de la structure et de pérennité esthétique des parements. *"Nous avons choisi la facilité d'entretien qu'offre le béton. Certes, il faut suivre le fonctionnement des articulations de l'arc, mais il n'y a pas de crainte de dégradation, pas de rouille évidemment, ce qui pour une ville comme la nôtre, qui investit un budget important, est très rassurant. On ne construit pas un pont tous les jours"*, souligne Carole Cheucle.

Cet ouvrage revêt en outre une importance particulière dans l'aménagement urbain de Limoges. Le nouveau franchissement de la Vienne a pour objectif de désengorger les autres ponts et d'en restaurer un usage plus équilibré. Le pont de la Révolution, construit en 1885, comme le pont Neuf (1838), supportent aujourd'hui un trafic d'environ 40 000 véhicules par jour. Le pont de

l'autoroute A20 affiche quant à lui 53 000 passages journaliers. À observer aujourd'hui le pont du Clos-Moreau, on constate également que la finesse et l'originalité de la structure en font un ouvrage très valorisant pour la ville. En témoigne le traitement de la continuité des cheminements piétons. Dans la conception de Charles Lavigne et Christophe Chéron, le franchissement des piétons est séparé des voies routières, avec des escaliers en encorbellement ingénieusement placés dans l'axe des piles. Ce qui vaut déjà à l'ouvrage le dénominateur de "pont-passerelle", qui souligne sa double vocation.

### Une structure respectueuse de la tradition locale

Pourquoi la structure en arc s'est-elle imposée d'évidence ? Il y a d'abord les très beaux ponts en arc en maçonnerie qui enjambent la Vienne non loin du site. Non qu'il ait été question d'imiter à tout prix les œuvres des anciens bâtisseurs, mais au moins a-t-il été tenu compte de l'importance esthétique qu'ils accordaient au reflet des ouvrages sur l'eau du fleuve. Ce pont en arc encadrant la rivière pour la mettre en valeur, sans structure supérieure qui pèse ou écrase le paysage, renoue bien avec la plus traditionnelle des formes. En ce sens, il s'inspire aussi des projets révolutionnaires initiés au début du siècle dernier

#### chiffres clés

- Coffrages : **10 700 m<sup>2</sup>**
- Béton B60 :
  - appuis : **2 750 m<sup>3</sup>**
  - tablier : **4 600 m<sup>3</sup>**
- Armatures passives : **740 t soit 100 kg/m<sup>3</sup>**
- Armatures de précontrainte : **145 t soit 31 kg/m<sup>3</sup>**
- Surface totale du tablier : **4 200 m<sup>2</sup>**
- Durée des travaux : **22 mois**



par l'architecte suisse Robert Maillard, "en plus mince et plus nerveux", précise Frédéric Manuel, responsable de la maîtrise d'œuvre de conception chez Jean Muller International.

### Bien marquer le franchissement du fleuve

Christophe Chéron revient quant à lui sur la problématique de base sur laquelle il s'est penché avec Charles Lavigne. Soit un ouvrage d'environ 165 m, à vocation routière, mais marquant le plus nettement possible le franchissement de la Vienne. Vu de profil, le pont offre donc une structure volontairement dissymétrique, puisque le massif de fondation de l'arc rive droite jouxte la berge au plus près et que le franchissement du fleuve n'est que de 90 m. Ce qui a pour effet de décaler le franchissement sur la rive droite et d'assurer ainsi la continuité urbaine sur l'ouvrage lui-même. Le pont n'est pas vraiment un arc, il se situe plu-

tôt, structurellement, entre l'arc et la béquille. L'arc lui-même est extrêmement élancé puisqu'il ne dépasse pas 80 cm d'épaisseur. Un béton de "bonne performance", un B60 (il y a encore quelques années, on aurait parlé de haute performance...), a été choisi pour garantir cette épaisseur minimale. "Nous avons logiquement choisi le béton, en raison de la nature même de l'ouvrage, qui fonctionne essentiellement en compression", souligne Christophe Chéron. Reste qu'une structure en arc pousse fortement sur le sol, verticalement et horizontalement. La poussée qui s'exerce dans l'axe de la béquille requiert des terrains suffisamment solides, assurant la butée du pied de l'arc. Le sol de la rive droite, constitué de gneiss, autorisait l'implantation de la culée. Une béquille supplémentaire a été ajoutée pour reprendre une partie des efforts sur le sol alluvionnaire. Quant au dessin de l'intrados – la partie inférieure de l'arc –, il a fait l'objet d'études particulièrement fines, pour être

>>> **1** Le parti pris architectural retenu tient pour une part à la topographie du site. Le lieu de franchissement du fleuve est dissymétrique, avec une rive droite urbanisée où se trouve le carrefour du Clos-Moreau, et une rive droite plus basse bordée de prairies boisées, qui permet au lit majeur de s'étaler.

le plus élégant possible, notamment au niveau de l'encastrement. Au niveau mécanique, en effet, l'arc est ici encasté dans sa partie centrale. Arc et tablier sont ainsi intimement liés par une dalle commune. Ce qui justifie la forme en arc-béquille plutôt qu'en arc pur.

### Articulations originales et complexes

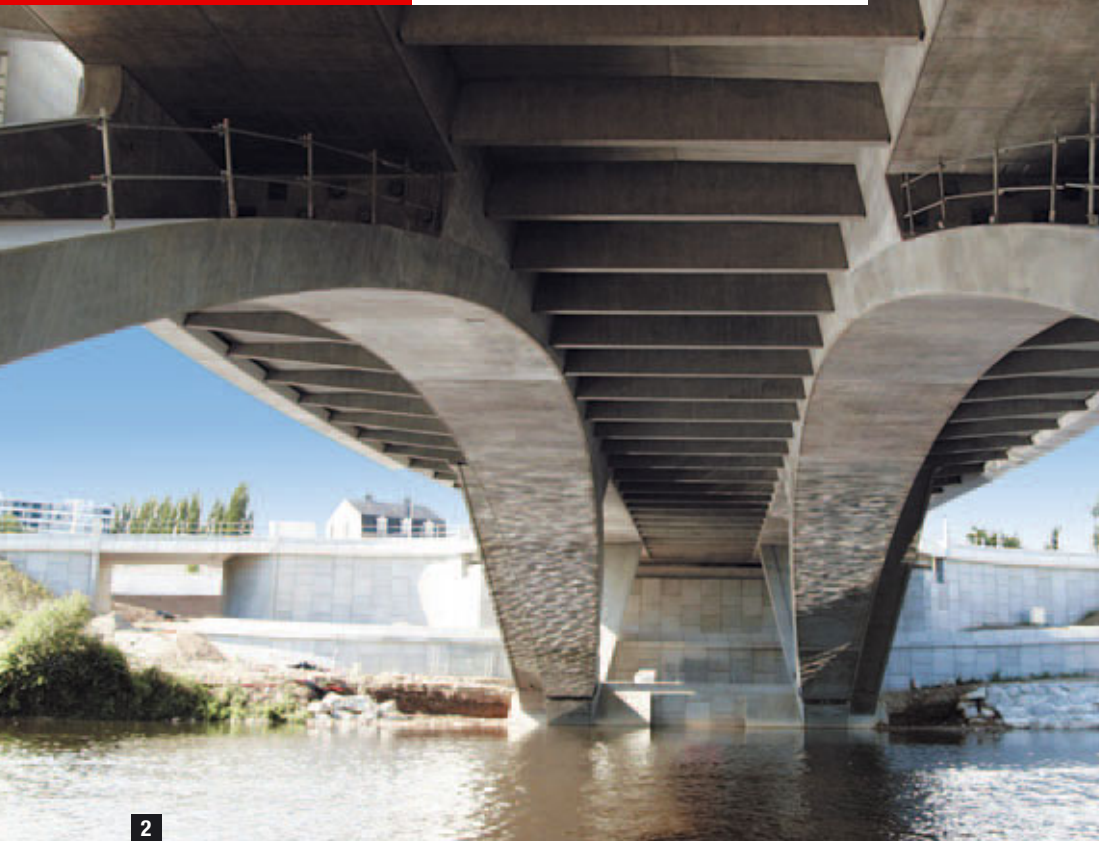
La méthode la plus simple *a priori* pour la réalisation de l'ouvrage était d'utiliser un cintre général et de positionner tous les éléments en béton pour réaliser les arcs par sections de 26 plots. Mais d'autres solutions ont été envisagées, comme la construction des demi-arcs au sol, voire même de construire l'arc verticalement sur un cintre placé au sol puis de le rabattre sur la Vienne. Il n'empêche qu'en la matière, les spéculations

constructives sont directement dépendantes du régime du fleuve lors de la réalisation. Or à Limoges, le régime de la Vienne était suffisamment calme pour que le risque de voir un cintre emporté par une crue soudaine soit suffisamment réduit. Cette solution fut finalement adoptée sans trop de risques.

Le problème : pour que l'arc soit beau, il faut qu'il soit très mince. Or il ne peut s'encastrer dans ses massifs de fondation car les effets thermiques provoqueraient inéluctablement des efforts très importants. Il fallait donc prévoir une ligne d'articulation. "Un pont, ça vit. Quand il fait froid, il descend, quand il fait chaud, il monte", rappelle Michel Virlogeux. D'autre part, pour respecter l'esthétique souhaitée, l'arc ne pouvait pas dépasser 1,50 m d'épaisseur, ce qui interdisait de mettre en œuvre des appareils d'appui classiques.



>>> La construction a rendu nécessaire la mise en place d'une estacade sur laquelle s'est déplacée une grue destinée au levage des pièces préfabriquées du chantier et aux approvisionnements.



2



3

>>> **2** Les courbes parfaites des arcs ont été conçues pour obtenir un reflet non moins parfait sur les eaux de la Vienne. **3** L'accrochage des parois des escaliers dans le vide est une authentique prouesse technique.

**4** Les arcs sont traités avec simplicité, en prenant grand soin des reprises de bétonnage et en employant des coffrages fins. **5** Les béquilles, comme les pilettes, s'inscrivent dans la projection géométrique des arcs et sont animées par un large joint creux vertical.

MICHEL VIRLOGEUX

## “Une belle collaboration avec Charles Lavigne”

« Avec Charles Lavigne, nous avons très vite décidé de réaliser un pont en arc. Il était évident pour nous qu'il fallait réaliser un arc par-dessous. De même, dès mes premiers croquis, j'avais dessiné les contre-béquilles, ces petites piles inclinées vers l'arrière pour éviter de mettre des piles verticales trop près de l'arc, ce qui aurait donné à l'ouvrage une facture un peu trop banale. Faire en sorte que l'arc du pont se reflète intégralement sur l'eau de la Vienne était une vieille idée de Charles Lavigne, avec qui nous avons eu une longue collaboration professionnelle et amicale, lui me faisant bénéficier de son exceptionnel sens esthétique et moi réfléchissant à la conception de la structure dans un jeu de “ping-pong” permanent et fructueux. Nous avons déjà appliqué cette idée de reflet intégral pour le pont de la Roche-Bernard. Et nous savions donc que pour que l'intrados vienne dans l'eau et que l'extrados épouse le terrain, il fallait positionner les culées de l'arc à l'extrême limite des berges. À Limoges, nous avons simplement prévu un petit belvédère entre l'arc et la contrebéquille. »

C'est donc à ce niveau que la contribution de Michel Virlogeux s'est révélée décisive : “J'ai passé beaucoup de temps à mettre au point un système d'appuis en acier qui soit en même temps vérifiable pour compenser d'éventuels mouvements au niveau des fondations, et dans lesquels on puisse en cas de besoin remplacer certaines pièces.” Des pièces particulières, éléments clés de la structure, dont les constructeurs reconnaissent la pertinence et l'ingéniosité.

### Une méthode inédite pour la construction des arcs

Le planning de livraison de ces articulations (12 tonnes de charpente et 4 tonnes de pièces d'acier forgé) a imposé une méthode de construction des arcs probablement inédite depuis l'époque romaine ! La clé de voûte, en effet, a été réalisée avant les plots des pieds. Les nervures principales et les arcs ont été coulés en place par plots successifs et les nervures transversales sont préfabriquées.

Le tablier est constitué par l'assemblage des poutres transversales préfabriquées et de prédalles servant de coffrage au coulage de la partie supérieure du

tablier. Ensuite, le coulage en place des autres plots a suivi un ordre tout aussi inhabituel : pose du plot 2, puis du 8, etc. Ceci a eu pour conséquence de voir un temps l'arc littéralement suspendu dans le vide dans l'attente de se voir enfin doté de ses pieds !

### Planning contraignant pour le constructeur

Pour Jean-Pierre Grenergy, directeur des travaux de l'entreprise DV Construction, le principal défi de ce chantier aura été le respect d'un planning contraignant pour un ouvrage aussi complexe. La structure, en effet, a passablement compliqué les opérations : assembler en parfaite harmonie les plots en béton armé des arcs, les nervures en béton précontraint et les poutres de soutènement préfabriquées (posées sur deux nervures et sur lesquelles prennent appui les prédalles en béton armé) qui portent le tablier, relevait à la fois d'un travail d'imbrication sophistiqué et d'un phasage calculé au jour près. À cet égard, Jean-Pierre Grenergy rend hommage au concours précieux d'Olivier Jorus, en charge des méthodes chez DV construction et véritable “chef d'orchestre” de ce



chantier complexe. La dernière phase d'exécution du tablier a consisté à bétonner en place la partie supérieure de la dalle du tablier. La construction a démarré le 12 novembre 2003, début d'un compte à rebours tendu courant sur les vingt mois suivants.

Première étape, l'installation d'un batardeau en palplanches et la réalisation d'une estacade posée sur 52 appuis sur

la largeur complète de la Vienne. Une grue à tour a ensuite été mise en place en partie centrale sur cette estacade, destinée au levage des nombreux éléments préfabriqués, les deux arcs devant être construits indépendamment l'un de l'autre avant la pose des poutres transversales vouées à supporter la charge du tablier. Deuxième étape, entre mai 2004 et novembre 2004: le coulage depuis le

centre des 26 plots en béton armé des arcs, d'une dizaine de mètres chacun. Le béton mis au point par l'entreprise locale, Gallaud, se devait d'être très fluide. Les plots des arcs ont en effet été bétonnés par le dessus et l'entreprise avait émis le vœu de disposer d'un matériau particulièrement fluide pour faciliter cette méthode.

### 80 m<sup>3</sup> de béton à vibrer en porte-à-faux !

Une autre disposition constructive a mobilisé les efforts de l'équipe de DV Construction. Les béquilles imaginées par Michel Virlogeux, géométriquement alignées sur le plan des arcs, faisaient 11 m de haut et requéraient 80 m<sup>3</sup> de béton à vibrer en porte-à-faux. La solution finalement adoptée a consisté à descendre les vibreurs au sein même des treillis de ferrailage, toute intervention humaine se révélant par trop dangereuse. Une manière de faire qui démontre, une fois encore, qu'à l'audace de la conception doit toujours répondre l'inventivité dans la réalisation des travaux... ■

TEXTE : SIMON ARTZ

PHOTOS : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO

## architecture

### Originalité et tradition

**La structure élancée et transparente de ce pont s'inscrit dans la grande tradition des ouvrages en maçonnerie, dont certains, comme le pont Saint-Étienne datant du Moyen Âge, ne sont guère éloignés du site. Comme jadis, le franchissement sans appui du fleuve par une forme en arc le met en valeur. Autre référence, les réalisations de ponts en arc à tablier supérieur de l'architecte suisse Robert Maillard, né en 1872, exemplaires de simplicité. Il n'en demeure pas moins que la structure de ce pont en arc à dalle précontraint longitudinalement et hourdis nervuré dans le sens transversal et précontraint, a requis une optimisation particulière des méthodes constructives, qui associent des bétons coulés en place et des produits préfabriqués en béton (poutres transversales, prédalles, corniches, caniveaux). Fait remarquable, la pureté de la ligne générale n'est en rien diminuée par l'originalité fonctionnelle.**



**Maître d'ouvrage :**  
communauté d'agglomération  
Limoges Métropole

**Maître d'œuvre :**  
Scetauroute  
(maîtrise d'œuvre d'exécution)  
Jean Muller International  
(maîtrise d'œuvre de conception)  
Michel Virlogeux (conception)

**Architecte :**  
Cabinet Lavigne/Chéron  
architecture et ouvrages d'art

**Études d'exécution :**  
SetecTPI

**Entreprise :**  
DV Construction

**Coût :**  
8,5 M€ HT

# → BFUP

## Béton d'exception pour innovations multiples

Pourtant issus d'une recherche récente, les Bétons à Hautes Performances doivent déjà faire place à une nouvelle génération de Bétons Fibrés à Ultra-Hautes Performances. Outre leur durabilité absolue, ces nouveaux venus se distinguent par leur extrême résistance à la compression et leur ductilité unique. De quoi séduire du même coup l'ingénieur, l'architecte et l'artiste.

Une nouvelle famille de matériaux. Ainsi peuvent être considérés les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP). Issus de la recherche au début des années 90, leurs premières véritables applications en France ont eu lieu sur les centrales nucléaires de Cattenom et de Civaux. L'opération a consisté à remplacer la structure métallique corrodée des aéroréfrigérants par des poutres préfabriquées réalisées, on l'aura compris, en BFUP. Pourtant, l'utilisation la plus emblématique – car considérée comme la première – demeure la construction d'une passerelle piétonne sur le site de l'université de Sherbrooke, au Canada (voir le numéro spécial ouvrages d'art 2004 de *Construction moderne*). Depuis, le matériau a connu nombre d'applications dans le monde entier et les perspectives de développement sont illimitées.

Mais les BFUP peuvent-ils être vraiment considérés comme des bétons ? Au regard de leur composition, pas de doute possible : il s'agit bien d'un mélange de ciment, de poudres minérales ultra-fines ou de granulats très fins, d'eau, d'adjuvants et de fibres synthétiques ou métalliques. Ils sont tous conçus selon le principe de l'empilement granulaire optimal dont la formule mathématique dite de la "compacité maximale" existe depuis les années 20 !

### Applications multiples

Côté utilisation, en revanche, l'approche est nécessairement différente. Exit la logique de volume qui caractérise l'utilisation des bétons. Pour être vraiment mis en valeur, les BFUP doivent pouvoir être considérés

comme une alternative non seulement aux bétons mais aussi au bois, au métal (aluminium, acier, fonte), aux composites (plastiques et autres polymères), à la pierre, à la terre cuite, voire au verre. Et ce, dans les domaines de la construction ou de l'industrie en passant par des utilisations plus originales comme l'ameublement, la décoration ou l'art. La caractéristique fondamentale qu'apportent les BFUP, outre leur durabilité absolue, est l'extrême résistance à la compression : entre 130 et 250 MPa dans les cas dits courants. Ces résistances s'accompagnent d'une très importante compacité et d'une perméabilité à l'eau, à l'oxygène ou à la diffusion d'ions chlorures pour ainsi dire nulle.

### Architecte, designer : enfin libres !

Autre propriété exclusive des BFUP, la ductilité. Autrement dit leur aptitude à se laisser déformer sans se rompre. Cette caractéristique découle de la présence de fibres dans la matrice cimentaire. Longues de 10 à 20 mm pour des diamètres compris entre 0,1 et 0,3 mm, elles permettent d'augmenter la résistance en traction du matériau dans des valeurs pouvant atteindre 10 MPa. Une résistance intrinsèque qui permet de s'affranchir dans certains cas des armatures passives. Et ainsi de libérer les BFUP des contraintes de forme et de mise en œuvre inhérentes aux armatures : la voie royale de la créativité pour les architectes et les designers de la matière. ■

TEXTE : ANTOINE VAVEL

PHOTO : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO



### >>> Pont de la Chabotte sur l'A51

Ce pont-passerelle en BCV® valorise les caractéristiques exceptionnelles des BFUP.





## → Saint-Pierre-la-Cour (53) Une première aux atouts de poids

**S**aint-Pierre-la-Cour, dans la Mayenne, est avant tout connu pour abriter la plus grande cimenterie française du groupe Lafarge. Mais passe aussi à hauteur de cette commune la ligne SNCF Paris-Brest. Soucieux d'améliorer la sécurité routière et ferroviaire, le conseil général de la Mayenne a entrepris des travaux d'exception dont la finalité est de supprimer le passage à niveau n° 164. L'opération a imposé en premier lieu la conception d'un contournement routier tenant compte en particulier de l'implantation de la cimenterie. Le chantier présente un montage public-privé inhabituel avec trois maîtres d'ouvrage dont Lafarge Ciments comme intervenant privé.

### Une opportunité à ne pas manquer

Pour l'industriel, ce projet réalisé pour partie sur son domaine était une véritable aubaine et un champ d'investigation à ne pas laisser passer. Au cœur du tracé se trouve le pont permettant le franchissement de la voie ferrée desservant la cimenterie. D'une portée de 20 m pour une largeur de 12,90 m, l'ouvrage s'articule autour d'un tablier isostatique composé de dix poutres en I, classiques en apparence... En fait, ce pont constitue la première application en France du Ductal® utilisé comme matériau de structure d'un ouvrage d'art.

Par rapport à une solution en béton armé traditionnelle, la variante en BFUP s'avère deux fois plus légère avec un gain en matière de plus de 50 % : 88 m<sup>3</sup> (Ductal® et

béton de dalle coulé en place) contre 185 m<sup>3</sup> pour la version classique. Le deuxième avantage concerne la rapidité de la construction. Préfabriquées, les poutres ont été posées en une seule journée, une seconde journée ayant été nécessaire pour le coulage de la dalle du tablier. Pour autant, la sous-face n'a nécessité aucun coffrage, avantageusement remplacé par des prédalles prenant appui sur les poutres, elles aussi en Ductal. Ces éléments de 25 mm d'épaisseur, sans armatures, reçoivent une charge de béton (la dalle de 17,5 cm) de 500 kg/m<sup>2</sup>. Chaque poutre porteuse du tablier mesure 75 cm de haut pour 35 cm de large et 12 cm d'épaisseur d'âme. Les poutres sont toutes précontraintes par torons prétendus. À l'exception des fibres métalliques et des connecteurs de la dalle coulée en place, aucune armature passive ni armature d'effort tranchant n'est présente dans les poutres.

### Délai réduit pour l'exécution et la pose des poutres

La préfabrication a permis de diminuer le coefficient de fluage de 0,8 à 0,3 grâce à un traitement thermique des poutres sous vapeur à 90 °C pendant deux jours. Ainsi, le matériau a atteint sa résistance et ses propriétés quasi définitives au cours de la semaine de production. Une propriété qui réduit d'autant le délai entre la fabrication des poutres et leur pose sur le chantier. Le traitement thermique a en même temps autorisé une meilleure exploitation de la précontrainte. La réduction de la perte de pré-

>>> **1** Le premier pont en Ductal® construit en France franchit la voie ferrée desservant la cimenterie Lafarge en Mayenne. **2** Le tablier est composé de dix poutres préfabriquées. **3** Délai de construction record : une journée pour la pose des poutres et une autre pour le coulage de la dalle en béton.

contrainte par fluage a permis de faire passer de dix-huit à seize le nombre de torons dans le talon des poutres. Plus légères, les poutres en Ductal® affichent un poids unitaire de l'ordre de 9 t, rendant leur manutention plus aisée sans qu'il y ait besoin de faire appel à une lourde grue. Enfin, la résistance des éléments porteurs du tablier était suffisante pour supporter le rechargement de 30 cm composant le corps de chaussée, constitué d'une grave bitume surmontée d'une dalle en béton armé continu (BAC). Là, l'utilisation du Ductal® a permis de concevoir une structure légère... aux atouts de poids. ■

TEXTE ET PHOTOS : ANTOINE VAVEL

**Maître d'ouvrage :** Conseil général de la Mayenne, Réseau ferré de France et Lafarge Ciments

**Maître d'œuvre :** SNCF

**Entreprises :** Quille et Guintoli

**Préfabrication :** Composants Pré-Contraints, sous licence VSL

→ Pont de la Chabotte sur l'A51 (38)

# Un pont aérien se pose sur l'autoroute



Au lieu-dit du "CR de la Chabotte" prend place le passage supérieur 34, un ouvrage de franchissement de l'autoroute A 51 réalisé dans le cadre de la section Coynelle-col de Fau. Ce pont est conçu en BCV®, le béton fibré à ultra-hautes performances développé conjointement par le cimentier Vicat et le groupe de BTP Vinci. L'ouvrage permet de franchir, sans aucun appui intermédiaire, l'intégralité des voies autoroutières, soit une portée totale de 47,40 m avec une largeur hors tout de 4,40 m. Pour le concessionnaire, cette solution laisse ouverte toute possibilité d'élargissement ultérieur de l'autoroute sans nécessité de modification de l'ouvrage.

## Un ouvrage très aérien

Du point de vue esthétique, l'absence d'appui rend ce pont très aérien, le réduisant à la seule présence du tablier. La structure est constituée d'un assemblage de 22 voussoirs de 2,44 m, préfabriqués selon la technique des joints conjugués (le voussoir "n" sert de fond de coffrage au voussoir "n + 1"). Armés uniquement de fibres métalliques, les voussoirs dont l'épaisseur des âmes est comprise entre 12 et 14 cm, sont assemblés sur site par mise en œuvre d'une précontrainte extérieure filante constituée de six câbles 19 T15. L'ensemble de l'ouvrage, pesant environ 195 t, a été mis en place à l'aide d'une grue et posé sur ses culées en une seule opération.

>>> **1** et **2** Les 22 voussoirs préfabriqués ont été assemblés sur site, puis l'ouvrage, levé au moyen d'une grue, a été déposé sur ses culées. **3** D'une portée totale de 47,40 m, ce pont-passerelle mis en place en décembre 2005 franchit l'autoroute sans aucun appui intermédiaire.

Du fait des joints conjugués collés et surtout de l'extrême durabilité du BCV®, l'ouvrage est prévu sans étanchéité ni couche de roulement : une première en France pour un pont routier, d'autant plus remarquable qu'il est situé en zone montagneuse. La rugosité nécessaire pour garantir une bonne adhérence est donnée par l'utilisation d'une matrice spéciale intégrée au coffrage. ■

TEXTE ET PHOTOS : ANTOINE VAVEL

## technique

### Assemblage et mise en place de l'ouvrage

Assemblé au sol, l'ouvrage est ensuite levé et mis en place à la grue :

- un banc d'assemblage horizontal est réalisé le long de la plate-forme autoroutière ;
- les 22 voussoirs sont amenés par camion, puis posés sur le banc et assemblés deux à deux à l'aide de câbles de précontrainte provisoire ;
- mise en œuvre de la précontrainte définitive ;
- l'ouvrage est alors levé à la grue et déposé sur ses appuis.



Maître d'ouvrage :  
AREA

Maître d'œuvre :  
Scetauroute

Entreprise et préfabrication :  
Campenon-Bernard Régions –  
groupe Vinci



## → Profondeur record pour les fondations du centre Isséane

### chiffres clés

- Dimensions de l'enceinte : **400 x 100 m**
- Terrassement : **670 000 m<sup>3</sup>** de sol naturel évacués par voie fluviale (barges de 7 500 tonnes)
- Béton pour les parois moulées : **75 000 m<sup>3</sup> - 95 000 m<sup>3</sup>**
- Béton de structure : **120 000 m<sup>3</sup>**
- Armatures pour les parois moulées : **6 500 t**
- Armatures pour le béton de structure : **15 000 t**
- Effectif présent sur le chantier : **environ 250 personnes**
- Coût total des travaux : **506 M€ HT** (valeur février 2003)
- Coût des fondations et du génie civil : **208 M€ HT** (valeur février 2003)

Le futur centre de traitement des déchets "Isséane" impose des travaux jusqu'à 31 m de profondeur afin de s'intégrer discrètement dans le site d'Issy-les-Moulineaux. Le projet met en valeur deux types de fondations spéciales : parois moulées jusqu'à 51 m de profondeur et 123 poteaux profondés.

Le Sycotm, Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères de l'agglomération parisienne, traite les déchets de 89 communes, représentant 5,5 millions de personnes. Le centre d'Issy-les-Moulineaux, l'une des usines du Sitcom, sera remplacé par Isséane (1,2 million de personnes). Les responsables locaux ont défendu le principe d'une intégration urbaine sans hautes cheminées, au voisinage de l'héliport de Paris. Ne dépassant pas la hau-

teur des bâtiments voisins (21 m), l'immeuble sera enterré selon trois profondeurs différentes : 6 m pour les rampes d'accès, 15 m pour le centre de tri sélectif et 31 m pour le centre d'incinération.

### Deux kilomètres de parois moulées

Les fondations recourent à la technique des parois moulées : périmètre de 2 km (parois planes et contreforts compris) ;

255 panneaux pour une surface totale de 72 000 m<sup>2</sup> ; deux profondeurs différentes, une quinzaine de mètres pour le périmètre extérieur, mais 51 m pour l'usine d'incinération, des largeurs variant de 0,60 m à 1,20 m et jusque 1,50 mètre.

La géologie explique ces choix : couche supérieure constituée par un anticlinal d'alluvions très érodées ; couche de craie pâteuse très peu solide entre 14 et 25 m ; en dessous, couche de craie fissu-



rée siège d'importantes circulations d'eau; plus profondément, craie franche, roche suffisamment solide, mais où circule encore de l'eau. Situé sous le plancher de l'usine d'incinération, un radier drainant permet de s'affranchir des circulations et de la pression d'eau. Il est complété par une jupe injectée jusqu'à une profondeur de 71 m et épaisse de 8 m.

Dans un premier temps, on installe des tirants d'ancrage inclinés de 30° par

rapport à l'horizontale, utiles pendant le chantier. Bloquant les déformations du sous-sol proche et les pressions sur les têtes de paroi, ils seront détendus à la fin des travaux.

*"Des murettes guides définissent le périmètre des parois moulées. Deux bennes à câbles excavent les remblais, les alluvions et la craie pâteuse. Puis deux haveuses travaillant avec de la boue bentonitique retirent la craie fissurée",* précise Christophe Dal, ingénieur

>>> **1** Mise en place des cages d'armatures à l'aide d'une grue à chenilles, après excavation des remblais au moyen de bennes à câbles. **2** Le terrassement à l'intérieur de la zone délimitée par les parois moulées s'effectue à ciel ouvert jusqu'à une profondeur de 15 m, puis en taube au-delà.

de l'entreprise Bilfinger Berger. Des grues à chenilles mettent ensuite en place les cages d'armatures. Le terrassement à l'intérieur de la zone délimitée par les parois moulées s'effectue ensuite à ciel ouvert jusqu'à une profondeur de 15 m, puis en taube au-delà.



## environnement

### Un projet très vert

**Deux activités : tri sélectif (55 000 t/an) et usine d'incinération (460 000 t de déchets ménagers par an) produisant de l'électricité (50 MW) et de la vapeur de chauffage pour 82 000 logements (200 t/h à 50 bars et 400 °C).**

**Traitement très poussé pour les gaz de combustion (aucun panache visible) rejetés par deux tourelles dépassant le toit de l'édifice de 3 m : dépoussiérage, filtration sèche et réduction catalytique des oxydes d'azote. 105 000 tonnes de MIOM (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères) évacuées dans des barges grâce à un tunnel creusé sous le quai. Acier et aluminium récupérés et envoyés vers les filières de recyclage. Trafic quotidien des camions réduit d'une centaine de véhicules. Alimentation en eau assurée par le réseau urbain pour les usages domestiques et par la Seine pour les usages industriels. Station de traitement des eaux industrielles avant de rejoindre le réseau d'égout. Eau de refroidissement rejetée à moins de 28 °C. Protection phonique et impact visuel optimisés par la profondeur du bâtiment. Matériaux absorbants et isolants utilisés pour l'enceinte. Rampes de circulation des véhicules couvertes et bénéficiant d'un traitement acoustique.**

### Un total de 123 poteaux profondés

Les fondations recourent à des poteaux profondés, piles composites constituées de profilés métalliques enrobés de béton. Une prévirole – jusqu'à 2,20 m de diamètre et 10 m de hauteur environ – précède une virole vibrofoncée jusqu'à une profondeur de 30 m.

Deux bennes à câbles circulaires forent à travers la virole jusqu'à des profondeurs supérieures à 45 m. Un poteau métallique et une cage d'armatures cylindrique sont mis en place dans l'excavation; le béton est mis en œuvre jusqu'au niveau du terrassement futur à l'aide d'un tube plongeur. Après extraction des viroles, la partie supérieure du forage est comblée de ballast. ■

TEXTE : PASCAL GRAINDORGE

PHOTOS : DR

#### Maître d'ouvrage :

Sycom de l'agglomération parisienne

#### BET :

Sechaud & Metz

#### Architecte :

Cabinet Dubosc & Landowski

#### Mandataire général :

Razel

#### Fondations :

Bilfinger Berger, mandataire ;  
SEFI, Solétanche Bachy,  
Spie Fondations

#### Génie civil, terrassement et ouvrages souterrains :

Demathieu et Bard, Urbaine de travaux



# Architectes à vocation ferroviaire

>>> LA CONTRIBUTION DES ARCHITECTES AUX OUVRAGES D'ART EST LA MATIÈRE D'UNE RUBRIQUE TOUJOURS PRÉSENTE AU SOMMAIRE DU HORS-SÉRIE ANNUEL "OUVRAGES D'ART" DE *CONSTRUCTION MODERNE*. FIDÈLE À CETTE HABITUDE, CETTE ÉDITION 2005 SE PLACE SOUS L'ANGLE DES OUVRAGES FERROVIAIRES ET S'ADRESSE À DEUX SPÉCIALISTES DU DOMAINE, ALAIN SPIELMANN ET CHRISTOPHE CHÉRON. CE DERNIER N'EST AUTRE QUE LE SUCCESSEUR, AVEC THOMAS LAVIGNE SON FILS, DU REGRETTÉ CHARLES LAVIGNE. L'EMPREINTE LAISSÉE PAR CETTE GRANDE FIGURE DU GÉNIE CIVIL JUSTIFIE À ELLE SEULE UNE RUBRIQUE QUI RÉSONNE AUSSI COMME UN HOMMAGE.

Charles Lavigne fut l'un des premiers architectes à travailler exclusivement pour les ouvrages d'art. Il laisse aujourd'hui un nombre considérable de créations, dont beaucoup d'ouvrages ferroviaires. Le développement du réseau ferré à grande vitesse, en effet, génère de nombreux ponts, viaducs et autres tunnels : "Le domaine ferroviaire donne lieu à des ouvrages qui font à nouveau vibrer", confirme Christophe Chéron, collaborateur et successeur, avec Thomas Lavigne (le fils), du grand architecte. C'est aussi vrai à l'export, car le savoir-faire français en matière d'ouvrages ferroviaires fait florès à l'étranger, et avec lui les ingénieurs et les architectes hexagonaux.

### Quelle image pour la ligne ?

Alain Spielmann, quant à lui, se passionne pour les ouvrages d'art depuis les années 80. Formé au contact des ingénieurs, cet architecte se forge une première expérience sur un étonnant pont "rail-route" à Abidjan, signé de l'ingénieur Nicolas Esquillan. Puis les ouvrages d'art prennent de l'ampleur dans son travail, et d'abord les ouvrages courants. "Ceux que l'on voit tous les jours, ceux de la population riveraine."

Car les petits ouvrages ne sont pas moins importants que les grands. D'autant qu'ils sont fort nombreux dans le cas d'une ligne ferroviaire.

"Ma première approche est celle de l'image à donner de la ligne, fixe Christophe Chéron. Sur le TGV Méditerranée hier, et maintenant la LGV Est européenne, le TGV Rhin-Rhône, la LGV Sud-Atlantique, l'idée est de donner un esprit à l'ensemble du tracé." Le dessin doit s'adapter au paysage pour constituer de grandes séquences qui détermineront l'esprit de la ligne, travail mené en partenariat avec des paysagistes.

Les contraintes techniques elles-mêmes ne sont pas sans influencer sur le style des ouvrages. Les efforts horizontaux liés à la circulation à grande vitesse sont extrêmement sévères – les allures atteintes engendrent des décélérations très fortes au freinage – et leur influence est grande, au niveau des piles notamment. Un challenge pour l'architecte, qui souhaiterait du linéaire "fin" mais doit faire face à un fort besoin de robustesse. Auteur d'une quarantaine d'ouvrages sur la section Lorraine de la LGV Est, Alain Spielmann insiste aussi sur l'étude des éléments de superstructure : "Le rôle du concepteur-constructeur ne s'arrête pas à la structure. J'ai participé à la défini-

« À l'évidence, la préfabrication ne limite pas l'imagination : elle apporte une autre réponse à la question posée. »

tion de la hauteur générale de la ligne et de ses remblais, donc de la hauteur et de la longueur des ouvrages." Mené, là encore, avec paysagistes et ingénieurs d'études, ce travail sur le profil est cher à l'architecte. "Les ponts sont un élément du paysage, il est donc essentiel de donner de la douceur à la ligne, par nature violente dans son trait incisif et rectiligne." D'où ces têtes de tunnel en forme d'œil, d'où aussi ces ponts dont les tabliers de hauteur variable (ponts sur la Meuse et la Moselle) contribuent à donner de l'harmonie.

### Première contrainte, une horizontalité "épaisse"

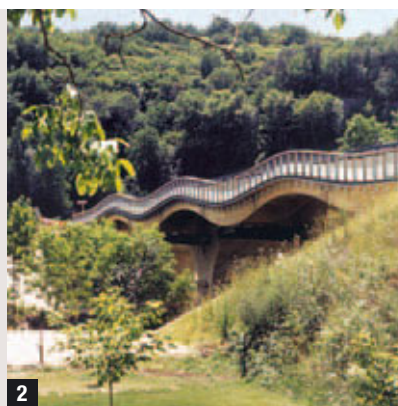
Pour Alain Spielmann, trois facteurs vont gouverner l'esthétique des ouvrages ferroviaires. Premier d'entre eux, la différence entre ponts-rail et ponts-route. Le poids des trains exige des infrastructures beaucoup plus conséquentes : "Là où suffira un tablier d'un mètre d'épaisseur en pont-route, il faudra le triple en pont-

rail." Deuxième élément : les pentes quasiment nulles. Une horizontalité "épaisse", donc, qui fait la violence de la ligne et l'essentiel de la difficulté à l'implanter dans son contexte. "D'autant que la portée maximale entre piles est limitée à 49 m, une valeur réduite par rapport à la route, qui rend l'intervention plus brutale encore dans le paysage." Troisième élément : des tabliers étroits mais dotés d'équipements anti-chute de ballast qui contribuent à augmenter l'écran vertical formé par le tablier. Voilà pour les contraintes qui s'imposent à l'architecte, auxquelles il faut encore ajouter les clôtures délimitant l'emprise du domaine ferroviaire, données majeures de l'intégration de la ligne avec la caténaire.

Et le béton dans tout cela ? Manifestement, la technologie du béton apporte beaucoup, et les architectes – ces "aiguillons du progrès" d'après Christophe Chéron – contribuent à pousser les techniques dans leurs retranchements. Les trains appartiennent à la



1



2

« Les ponts sont un élément du paysage, il est donc essentiel de donner de la douceur à la ligne. »



3

haute technologie, il est donc normal que les ouvrages partagent un même esprit de modernité. Et si les ouvrages exceptionnels font l'objet d'études spécifiques, les autres sont un modèle décliné où la préfabrication permet la standardisation des éléments principaux – les poutres de pont et les corniches, notamment. Le nombre même des ouvrages, en effet, impose leur reproductibilité. "La corniche est l'outil d'identification de la ligne, insiste Christophe Chéron. Nous dessinons la corniche de façon quasiment unique sur une même série d'ouvrages, en fixant un principe reproductible. En échange, les motifs de modénature doivent pouvoir s'adapter à toutes les configurations."

Les grands ouvrages sont, davantage encore, le domaine du béton – la ligne TGV Méditerranée en est l'illustration –, qui y fait montre de ses qualités spécifiques : l'inertie, le poids. Chez Alain Spielmann, les appuis – piles, culées – sont à 99 % en béton coulé en place. "De par la répétitivité de ces derniers, les coffrages du tronçon de la LGV Est ont pu être réutilisés, au profit de l'économie du projet." Mais l'architecte insiste aussi sur l'attrait esthétique de la préfabrication des éléments béton. "À l'évidence, la préfabrication n'empêche pas les

beaux tabliers. Elle ne limite pas l'imagination: elle apporte une autre réponse à la question posée."

Reste qu'il n'existe pas de bel ouvrage d'art sans mixité harmonieuse des acteurs. Car la mission de l'architecte, faut-il le préciser, s'exerce de concert avec celle de l'ingénieur. "Il n'est pas question de dessiner pendant que l'ingénieur calcule, relève Christophe Chéron. Les architectes-ingénieurs que nous sommes ne peuvent pas s'approprier les ouvrages." La spécificité de l'équipe: une certaine modestie par rapport à la technique et un dialogue permanent entre les différents intervenants. De la qualité de ce dialogue naît la qualité de l'ouvrage. "Nous essayons de rester assez proches des contraintes physiques pour les exploiter au mieux, même si certains architectes poussent plus loin l'abstraction." Quoi qu'il en soit, les membres de l'agence Lavigne valorisent le respect de la contrainte physique. "Notre architecture doit être intelligible à tous, c'est un travail qui se situe à la rencontre de la structure et de la forme."

Même évidence du dialogue pour Alain Spielmann : "Le poids et la dimension des ouvrages amènent des responsabilités à leur mesure. L'architecte doit toujours avoir en tête le fonctionnement

mécanique de la structure." Parce qu'il doit toujours comprendre les efforts, le dialogue est immédiat et continu avec les ingénieurs. "Ce n'est pas du génie civil sur lequel on plaque de l'architecture", insiste Alain Spielmann. Et d'ajouter: "Les nouveaux matériaux ont décuplé le champ d'action, et ce territoire n'est pas forcément exploré par les ingénieurs." L'architecte a donc cette connaissance de la forme et ce regard neuf qui amènent une quête spécifique. Son savoir vient compléter le calcul. "L'architecte a un rôle important à jouer et je ne l'abdiquerai pas, car ce que nous faisons est vu par une foule de gens." L'homme songe aussi aux anciens: "Que penseraient de mon travail les bâtisseurs

des cathédrales?" D'où cette formule, prononcée avec le sourire: "L'architecture est un métier grave." En faisant œuvre de discrétion, on apprivoise la technique, donc, et cette mission est celle de l'architecte: "Le dialogue entre la technique et la forme doit se conclure par une humanisation de la technique." Dont acte.

"Mon travail consiste aussi à faire découvrir la Lorraine aux usagers du TGV Est, reprend Alain Spielmann. Or ceux-ci traversent des paysages souvent peu connus. Riverains et utilisateurs de la liaison ferroviaire sont donc les deux publics de l'architecte, avec chacun ses attentes. Le maître d'ouvrage, quant à lui, veut faire admettre son ouvrage par

- >>> **1 Pont de la Grande Ravine, La Réunion** – Alain Spielmann architecte. Une fine lame soutenue par des bracons. **2 Les Eyzies-de-Tayac** – Alain Spielmann architecte. Un élargissement en lamellé-collé ondulé laissant découvrir les arcs maçonnés. **3 Gien** – Appuis préfabriqués en béton poli pour ce passage supérieur. **4 Passerelle à Dôle (photomontage)** – Alain Spielmann architecte. Projet de passerelle suspendue franchissant le Doubs. **5 Pont sur l'A75** – Charles Lavigne architecte. Un parti pris de minéralité et des extrémités arrondies qui ajoutent de la douceur au paysage. **6 Pont de Donzère – TGV Méditerranée** – Charles Lavigne architecte. L'obligation de constituer des piles très larges n'a pas entamé la transparence latérale. **7 Pont sur l'A87 Angers – La Roche-sur-Yon** – Charles Lavigne architecte. Les béquilles latérales ont permis de limiter l'épaisseur du tablier.



les riverains, et l'architecte est là pour l'aider à argumenter." Il se sert de ce regard spécifique pour convaincre et faire comprendre que la ligne est utile, qu'elle s'intègre au paysage. Réseau ferré de France, maître d'ouvrage, a donc besoin d'hommes connaissant les critères qui feront que la ligne s'intégrera parfaitement.

La population aussi a besoin de rencontrer l'architecte, souvent pour mieux comprendre l'utilité de l'ouvrage. Une occasion pour Alain Spielmann d'expliquer la variété de son message. Sa contribution à la ligne LGV Est, en effet, l'a amené en Île-de-France aussi bien qu'en Lorraine, passant ainsi "d'une sorte de land art moderne et heureux en Seine-et-Marne à des ouvrages plus drainants, liés à l'environnement plus dramatique de la Moselle". L'unité entre Meuse et Moselle lui semblait décisive. "Je ne suis pas favorable à un régionalisme de principe, mais je suis conscient de la nécessité de respecter la spécificité régionale d'un paysage."

### RFF, ou la maîtrise d'ouvrage "simplifiée"

Au sein de l'agence Lavigne, on reconnaît une grande évolution depuis la création de Réseau ferré de France, origine d'une dissociation entre maîtrise d'ouvrage et exploitation. À la clé, moins de préjugés chez le maître d'ouvrage: "RFF se montre plus simple dans ses attentes en matière de maîtrise d'œuvre." Soulagé des questions d'exploitation et de prise en charge des aspects sécurité, le maître d'ouvrage découpe en tronçons pour stimuler la concurrence puis laisse travailler les maîtres d'œuvre. Sur la future LGV Rhin-Rhône, par exemple, les 125 km du tracé ont été divisés en trois tronçons, dont deux attribués à l'agence Lavigne. "Le projet TGV est difficile dans son financement, reconnaît Christophe Chéron. Mais au final, cela profite à l'optimisation des ouvrages."

Reste qu'une liaison ferroviaire doit impérativement s'inscrire dans le paysage et qu'il est difficile de sacrifier quoi

que ce soit sur le thème de la qualité. D'où cette conclusion de Christophe Chéron: "Il n'existe pas de bon projet sans un maître d'ouvrage exigeant." En l'occurrence un maître d'ouvrage ouvert aussi à l'innovation. "La maîtrise d'ouvrage nous écoute parce qu'elle est sensible aux critiques qui pourraient lui être soumises", enchaîne Alain Spielmann.

### Surmonter l'économie du projet

Sur le plan financier, à l'inverse, la marge de manœuvre semble plus faible. Mais n'est-ce pas la mission de l'architecte, précisément, que de trouver des solutions malgré l'économie du projet? "Faire économique est possible; c'est mon travail", revendique Alain Spielmann. Même s'il est parfois difficile de faire passer certaines idées, comme l'entrée de tunnel en forme d'œil en Lorraine, ou les superstructures de couleur lilas sur la Meuse et la Moselle, deux franchissements conçus comme autant de "portes" de la Lorraine. "J'ai voulu des traits souples, à l'image des piles en forme de tulipe. Ce qui a amené un gros travail de concertation, avec le parc régional de Lorraine par exemple. Ce qu'il faut retenir aujourd'hui, ce sont ces ouvrages simples mais réfléchis, où j'ai pris soin de favoriser la diversité, en invitant par exemple un autre architecte et un autre bureau d'études à participer à la conception d'un ouvrage qui m'était confié." Une initiative remarquable.

Et l'avenir? Pour les architectes, d'autres domaines se dessinent, comme les passerelles et les tramways. "Un concept voisin des lignes à grande vitesse mais à une échelle plus réduite, résume Christophe Chéron. On y trouve le même aspect 'ligne', dans le domaine de la caténaire et du design notamment." Et quand l'ouvrage d'art est le fil conducteur, l'élément symbolique de la LGV, le "mobilier" (abris, quais) prend le relais dans le tramway. Une autre porte ouverte aux architectes... ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : DR



8



9



10

- **8 Le pont de Normandie** – Charles Lavigne architecte. Sobriété des pylônes, traitement en aile d'avion du tablier et portée record sont quelques-unes des propriétés de cet ouvrage exceptionnel.
- 9 Viaduc de la Risle sur l'A28** – Charles Lavigne architecte. Un ouvrage en courbe, très long et très haut, réalisé dans un délai particulièrement serré.
- 10 Viaduc de la Bresle sur l'A29** – Charles Lavigne architecte. On notera le traitement audacieux des têtes de piles. Le tablier a été mis en place par poussage.



## → Charles Lavigne



« Travailler dans le sens de la structure et apporter des réponses adaptées à l'environnement, au paysage ou à la ville. »

PHOTO : PHILIPPE ZANDVLIET

Charles Lavigne fait partie des architectes qui ont joué un rôle majeur dans l'esthétique contemporaine des ouvrages d'art. La philosophie de son travail et de son œuvre peut se résumer ainsi : imaginer de nouvelles structures, de nouvelles réponses architecturales en travaillant en collaboration étroite avec les ingénieurs d'études, les consultants, les paysagistes et les maîtres d'ouvrage ; travailler dans le sens de la structure et apporter des réponses adaptées à l'environnement, au paysage ou à la ville. Il fut l'architecte de nombreux ouvrages d'art qui comptent parmi les plus beaux, en France mais aussi à l'étranger, tels que le pont de l'île de Ré (1988), le pont Châteaubriand sur la Rance (1991), le pont de Normandie (1995), le pont Vasco-de-Gama à Lisbonne (1998), le pont de Ventabren sur le TGV Méditerranée (2001), le viaduc de l'Anguienne (2004). Son talent a été distingué par de nombreux prix comme les Rubans d'or qu'il reçut à six reprises.



PHOTO : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO

« Jean Muller s'est employé à concevoir des ouvrages exceptionnels sur notre territoire et en bien d'autres endroits de la planète. »

## → Jean Muller

Jean Muller a commencé par travailler pour Eugène Freyssinet et établi le projet de trois ponts en arc au Venezuela, record pour leur époque de portée libre (150 m) mais aussi d'audace et d'élégance. Puis il a poursuivi sa carrière au sein de l'entreprise Campenon Bernard dans des domaines aussi variés que les barrages en béton, les ouvrages maritimes et les plates-formes offshore ou les ouvrages d'art. À partir de 1988, l'intégration au sein de Sceaurooute de l'équipe de Jean Muller International fut particulièrement féconde. Jean Muller s'est alors employé à concevoir des ouvrages exceptionnels sur notre territoire – le pont sur l'Isère sur l'autoroute A49 – ou d'autres particulièrement innovants – le pont sur la Roize. Mais son activité s'est développée en bien d'autres endroits de la planète avec le viaduc ferroviaire de Monterrey au Mexique (18 km de longueur), le viaduc de l'autoroute H-3 à Hawaï et les ponts routiers et ferroviaires de Bangkok. On doit également à Jean Muller l'un des plus grands ouvrages d'art contemporains au Canada, le pont de l'île du Prince-Édouard, qui comporte 44 travées de 250 m. On doit encore à cet homme des ouvrages uniques comme le pont Saint-Pierre à Toulouse, le viaduc du Chavanon ou le viaduc du Bras-de-la-Plaine.



livres



→ Applications de l'Eurocode 2 – Calcul des bâtiments en béton

Sous la direction de Jean-Armand Calgaro et Jacques Cortade

Livre d'exercices destiné à faciliter l'emploi de l'Eurocode 2 dans ses applications les plus courantes, ce support pédagogique de qualité s'adresse aux étudiants des écoles et universités de génie civil. Il constituera également une aide aux actions de formation que l'École Française du Béton et ses partenaires ne manqueront pas de développer. Enfin, il intéressera tous ceux qui, dans les bureaux d'études et sociétés d'ingénierie, seront bientôt amenés à utiliser au quotidien l'Eurocode 2.

Éditions Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 78 euros, pfe.enpc.fr



→ Les eurocodes, conception des bâtiments et des ouvrages de génie civil

Sous la direction de Jean Moreau de Saint-Martin et de Jean-Armand Calgaro

Les eurocodes bouleversent les méthodes de calcul dans le domaine de la conception et du dimensionnement des ouvrages et dans celui de la vérification de leur résistance mécanique. Ils ont pour objet d'harmoniser, au sein de l'Union européenne, les règles de calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil, créant ainsi un "marché unique" de la construction. Ce livre a pour ambition d'aider les professionnels concernés à s'initier à cette approche nouvelle.

Éditions Le Moniteur, 72 euros  
www.editionsdumoniteur.com



→ Gestion des ponts en Europe – Projet européen BRIME

Sous la direction de Bruno Godart

Ce rapport final du projet de recherche BRIDGE Management in Europe vise la création d'un système de gestion des ponts pour le réseau routier européen. Objectif: que le patrimoine d'ouvrages soit géré sur des bases rationnelles et que leur maintenance soit optimisée en prenant en compte tous les facteurs: état de la structure, capacité portante, taux de dégradation, effets du trafic, durée de vie des réparations et durée de vie résiduelle de la structure.

Éditions Laboratoire central des Ponts et Chaussées, 31,65 euros  
www.lcpc.fr



→ Contribution à l'analyse probabiliste de la performance des ponts en béton armé

Rita de Cássia Silva

Cette recherche repose sur l'application d'une démarche probabiliste en vue de prévoir l'évolution de la perte de capacité portante des ponts-routes en béton armé exposés à des environnements agressifs divers. L'étude permet d'estimer les principales phases de la performance d'une structure. Elle donne aux gestionnaires d'ouvrages les moyens pour prédire ces phases à partir de résultats d'inspection visuelle, et aux projeteurs les outils pour adapter les coefficients partiels de sécurité au recalcul des ouvrages dégradés.

Éditions Laboratoire central des Ponts et Chaussées, 31,65 euros  
www.lcpc.fr

publications techniques Cimbéton



Bétons et ouvrages d'art – Tome 1  
Les ponts courants en béton

Ce guide technique synthétise les principales règles de conception, les informations essentielles sur les matériaux et les équipements, ainsi que les recommandations pour la maîtrise esthétique des parements et la durabilité des bétons. La démarche architecturale associée à ces ouvrages courants est commentée par des témoignages d'architectes. ■

Référence T41, 200 pages, gratuit.



Écrans acoustiques en béton  
Le choix du silence, un choix pour l'avenir

Les dernières décennies ont vu un vaste mouvement de diversification de l'offre technique et esthétique en matière d'écrans acoustiques, notamment dans le secteur du béton architectonique industrialisé. Destiné aux maîtres d'ouvrage et concepteurs d'écrans acoustiques, ce guide leur propose des expériences et des observations qui contribueront à favoriser l'utilisation des solutions en béton. ■

Référence T45, 104 pages, gratuit.



→ **Dico-TP, le dictionnaire général des travaux publics**

**Monique Hanicotte, Jacques Laravoire, Jean Perchat**

Avec plus de 6 000 définitions et 1 000 illustrations, le *Dico-TP* détaille le vocabulaire des travaux publics et du génie civil grâce à son index par thèmes. On y trouvera croquis, schémas, coupes et tableaux chiffrés, et surtout des définitions simples et accessibles, traduites en anglais pour cette 2<sup>e</sup> édition. Figurent également les références des normes et des textes réglementaires. En prime, plusieurs annexes utiles, une importante bibliographie ainsi qu'un glossaire anglais-français.

Éditions Arcature, 832 pages, 102 euros, [www.arcature.fr](http://www.arcature.fr)

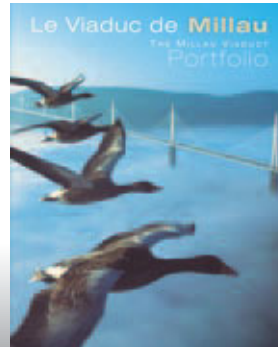


→ **Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre en ouvrages d'art**

L'importance des rôles que tiennent le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre dans le processus conduisant à la qualité d'un équipement public est ici clarifiée et précisée pour le cas particulier des ouvrages d'art. Les recommandations présentées visent également à aider les maîtres d'ouvrage à choisir dans les meilleures conditions leurs partenaires maîtres d'œuvre.

Éditions MIQCP  
[www.archi.fr/miqcp](http://www.archi.fr/miqcp)

.....



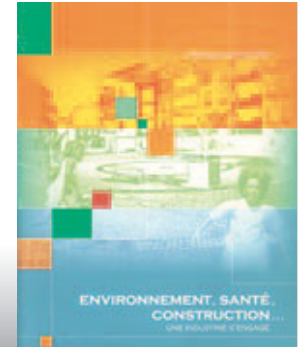
→ **Le viaduc de Millau, Portfolio**

**Collectif, version bilingue**

Un beau livre qui retrace toute l'aventure de la construction du viaduc de Millau. Étape par étape, de la pose de la première pierre le 14 décembre 2001, jusqu'à l'inauguration le 14 décembre 2004, les magnifiques photographies valorisent le travail des hommes et les techniques sophistiquées mises en œuvre pour ce projet hors du commun.

Éditions Compagnie Eiffage du viaduc de Millau (CEVM)  
[v.e.d@wanadoo.fr](mailto:v.e.d@wanadoo.fr)

.....



→ **Environnement, santé, construction... Une industrie s'engage**

Une brochure pour décrire les atouts des produits en béton et leur contribution au développement durable... Mais la fonction "sociétale" de l'industrie du béton (rassembler, loger, séduire...) y est également mise en lumière : répondre aux enjeux de la construction et de l'aménagement, en offrant, dans le même temps des performances environnementales et sanitaires avérées. Jacques Pellissard, président de l'Association des maires de France, Andrée Buchmann, présidente de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur, et Suzanne Déoux, docteur en médecine, expert santé-bâtiment, apportent leurs témoignages respectifs.

Éditions Cerib, Fib et Cimbéton  
[www.cerib.com](http://www.cerib.com)

.....



**Fiches techniques**  
**Les constituants des bétons et des mortiers**

Premier des trois tomes dont font l'objet les "Fiches techniques" Cimbéton, cet ouvrage traite plus particulièrement des ciments et de leur normalisation, des constituants des bétons et des mortiers, et enfin de la normalisation des bétons. ■

Référence G10, 72 pages, gratuit.



**L'armature du béton**  
**De la conception à la mise en œuvre**

Issu d'une collaboration entre l'AFCAB (Association Française de Certification des Armatures du Béton) et Cimbéton, ce guide technique s'inscrit dans une volonté commune de valoriser et d'accroître la qualité des armatures. Tous les aspects sont présentés, de la conception à la mise en œuvre des armatures. ■

Référence T 46, 132 pages, gratuit.



Viaduc de Monestier-de-Clermont (38). Photo : Régis Bouchu/Actophoto.