

# CONSTRUCTION

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2008

# MODERNE



# éditorial

Les Eurocodes comme seules normes de conception et de calcul des structures, c'est pour demain (début 2010), mais dès maintenant, l'ensemble des 60 parties des Eurocodes et la majeure partie de leurs Annexes Nationales sont disponibles comme normes françaises. Les bureaux d'études, de conception et d'exécution, devront revoir complètement leurs habitudes de calcul (programmes sur ordinateurs, formulaires, "recettes", ...), même si, au moins en ce qui concerne l'Eurocode 2 – Structures en béton, les dimensionnements et les quantités de matériaux sont pratiquement inchangés. L'Eurocode 2 offre plus de souplesse que les règles de calcul actuelles (BAEL, BPEL) et laisse plus de champ libre à l'innovation. Si l'on veut bien en exploiter toutes les possibilités, il peut conduire à des économies notables sur les matériaux et donc sur les ressources naturelles. Ainsi, il est possible d'améliorer la sécurité et la fiabilité et de garantir la durabilité des ouvrages. N'attendons pas 2010 pour commencer à l'utiliser, le site de formation via Internet BA-CORTEX en donne une excellente occasion.

HENRY THONIER  
Professeur à l'ENPC



>> Couverture  
Viaduc de Saint-Paul, la Réunion (974).  
Photo: Hervé Douris

**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 : François L'Huilier • RÉDACTEUR EN CHEF: Norbert Laurent • CONSEILLER TECHNIQUE: Patrick Guiraud •  
SECRÉTAIRE DE RÉDACTION: Clothilde Laute • CONCEPTION, RÉDACTION ET RÉALISATION : EDITIONS PC 35, Quai André Citroën – 75015 Paris, Philippe Chauveau, Sophie Chauvin, Guillaume Portmann •  
Pour tout renseignement concernant la rédaction, tél. : 01 55 23 01 00 • La revue *Construction moderne* est consultable sur [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) • Nous vous remercions d'adresser vos demandes d'abonnement par fax au 01 55 23 01 10 ou par courriel à [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) •

## Sommaire • Numéro annuel Ouvrages d'art • édition 2008



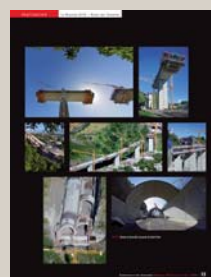
>> PAGE 01 > Hérault –  
Pont de Languedoc



>> PAGE 05 > Dordogne –  
Viaduc de L'Elle



>> PAGE 08 > Haute-Savoie –  
A 41 Nord



>> PAGE 13 > La Réunion –  
Route des Tamarins



>> PAGE 15 > BA-CORTEX



>> PAGE 23 > LGV  
Rhin-Rhône



>> PAGE 27 > Oise –  
Viaduc de Compiègne



>> PAGE 30 > Achères –  
Usine de traitement  
des eaux usées



>> PAGE 34 > Architectes  
et piles de ponts



>> PAGE 36 > Bloc-notes





# Un arc tendu sur l'Hérault

>>> À 25 KM ENVIRON AU NORD-OUEST DE MONTPELLIER, LE NOUVEAU PONT DE L'AUTOROUTE A 750, BAPTISÉ "PONT DU LANGUEDOC", FRANCHIT DÉSORMAIS L'HÉRAULT. SES CONCEPTEURS, MICHEL VIRLOGEUX, CONSULTANT, CHARLES LAVIGNE, THOMAS LAVIGNE ET CHRISTOPHE CHÉRON, ARCHITECTES, ONT DESSINÉ UN ÉLÉGANT ARC DE BÉTON, PROLONGÉ PAR UN DEMI-ARC EN RIVE GAUCHE. LE NOUVEL OUVRAGE, DESTINÉ À BOUCLER LE TRACÉ DE LA LIAISON AUTOROUTIÈRE A 75 / A 9, EST RÉALISÉ À MOINS DE 200 M DU PONT DE GIGNAC, INSCRIT À L'INVENTAIRE SUPPLÉMENTAIRE DES MONUMENTS HISTORIQUES.



**A**lliant l'élégance formelle aux performances techniques, le Pont du Languedoc répond à plusieurs exigences. Les aspects fonctionnels de l'ouvrage proprement dit, les contraintes du site, et en particulier celles relatives à l'hydraulique, l'efficacité structurelle, la qualité architecturale, l'inscription dans le paysage, mais aussi une présence toute proche. Car, à moins de 200 m, ce nouvel ouvrage a un célèbre "aïeul" construit à partir de 1776 et achevé en 1810 : le Pont de Gignac, inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques. En pierres, long de 175 m à trois arches plein cintre, il est l'œuvre de l'architecte Bertrand Garipuy et, pour certains, représente "l'un des plus beaux ouvrages du XVIII<sup>e</sup> siècle et à coup sûr le plus beau de la région avec le pont de Lavaur sur l'Agout".

#### chiffres clés

- Longueur : **135 m**
- Béton
  - Tablier : **3 500 m<sup>3</sup>**
  - Appuis : **5 000 m<sup>3</sup>**
- Armatures passives : **450 t**
- Armatures de précontrainte : **120 t**

#### L'ancien et le moderne

D'emblée, Michel Virlogeux, consultant, Charles Lavigne et Christophe Chéron, les architectes sélectionnés pour édifier le nouvel ouvrage, ont écarté la solution de facilité consistant à construire un ouvrage discret qui voudrait disparaître dans le paysage et s'effacer complètement devant les arches de celui de Garipuy. "Cela conduirait plus à la médiocrité qu'à la discrétion. Ce serait un aveu d'incapacité, un manque d'imagination, de créativité et de courage", relate leur note architecturale datée de l'année 2000. Pour eux, un autre pont en arc en béton armé construit à proximité du Pont du Diable, ouvrage roman vieux de presque 1 000 ans à l'entrée des Gorges de l'Hérault, constitue la preuve de la cohabitation possible de structures d'époques et de formes très différentes. À condition toutefois que chacune s'inscrive dans les techniques et dans l'esprit de son temps, qu'il y ait aussi entre les deux ouvrages une certaine communauté : des structures de même nature, des similitudes dans les matériaux et dans les formes... "Nous avons donc résolu d'être audacieux et de concevoir un ouvrage

original qui, sans vouloir rivaliser avec le chef d'œuvre du XVIII<sup>e</sup> siècle, puisse être son pendant moderne. Nous voulions concevoir un ouvrage vigoureux, en harmonie avec le pont existant et qui ne cherche pas à l'écraser. C'était l'ambition de rechercher à la fois la vigueur et la modestie".

#### Le choix de la solution béton

Dans le but d'inscrire au mieux l'ouvrage dans un environnement minéral et naturel, l'acier leur paraissant trop industriel dans cette plaine de l'Hérault, ils choisissent une structure en béton, "parce que de beaux parements de ce matériau se marient parfaitement avec les appareillages de maçonnerie". De leur imagination naît alors un pont en arc aux formes très épurées, inspiré des ouvrages du grand ingénieur suisse Robert Maillart, enjambant le lit mineur de l'Hérault. "Un arc en croissant de lune qui vient porter un tablier mince sans autre appui intermédiaire, et se retourne en rive gauche pour dégager la berge et offrir à l'Hérault le débouché hydraulique exigé par le règlement du concours", résume encore la note. Pour rester dans l'enveloppe financière du projet et ne pas chercher

à rivaliser avec le Pont de Gignac, ils donnent à l'arc et au tablier des formes simples, à la structure constituée de nervures et d'arcs "créant un volume dans l'espace à la fois puissant et original".

#### Un phasage de construction complexe

Simple sur le papier peut-être... Mais sans doute moins pour les bureaux d'études et les techniciens chargés de le construire. Les travaux ont nécessité une large palette de techniques constructives.

Le déséquilibre dans la structure, lié à la dissymétrie entre ses deux arcs et à l'écartement des béquilles se réduisant progressivement en montant vers le tablier, a en effet exigé de très nombreux calculs, réalisés à l'aide de logiciels spécifiques, qui ont permis de vérifier la faisabilité générale de l'ouvrage. Les concepteurs ont donc dessiné au-dessus de l'Hérault un arc long de 70 m, dont les appuis se posent naturellement sur les berges. Pour dégager le débouché hydraulique nécessaire, tout en évitant la mise en place d'un appui à terre pour mieux libérer l'espace





➤➤➤ **1** Des appareils d'appuis spécialement étudiés servent à la base des béquilles rive gauche pour la reprise d'effort entre 2 000 et 3 000 t. Au fond, vue sur l'ancien pont de Gignac en pierre, inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques. **2** La réalisation de l'ouvrage a nécessité la construction d'un pont provisoire armé à 11 palées, situées pour la plupart dans le lit de l'Hérault. **3** Phase de bétonnage du tablier.

sous l'ouvrage, ils ont ensuite imaginé une "contre-béquille" en rive gauche. Long au total de 130 m, l'ouvrage dégage ainsi un gabarit hydraulique de 17 m au-dessus de la rivière. Mais il est conçu pour résister à des crues millénaires (+12 m de hauteur d'eau), et il offre une transparence hydraulique de 110 m de long. La structure du pont est composée en partie supérieure par deux nervures en béton précontraint (à l'aide de 18 câbles 19 T15S) reposant sur les béquilles d'arc. Ces nervures reçoivent un tablier large de 23,60 m qui est précontraint transversalement à l'aide de torons (4 T15) gainés, graissés, positionnés dans le hourdis tous les 1,25 m. Le tablier comprend 52 pièces de pont espacées de 2,50 m et 105 consoles de rive portant un hourdis sur lequel repose la chaussée à deux fois deux voies de circulation. La dissymétrie de l'ouvrage engendrant des réactions de poussée différentes et une distribution inhabituelle des moments de flexion dans les béquilles d'arc, tant longitudinale que transversale, a imposé

une sérieuse réflexion sur le phasage de construction de l'ouvrage. Mais aussi sur sa fondation en rive gauche qui reprend les contraintes liées aux efforts, aussi bien lors de la construction que dans la période de service de l'ouvrage prévue supérieure à 100 ans. Ce phasage a nécessité la construction, puis la démolition en fin de travaux, d'un pont provisoire de 130 m de longueur armé à 11 palées provisoires situées pour la plupart dans le lit de l'Hérault.

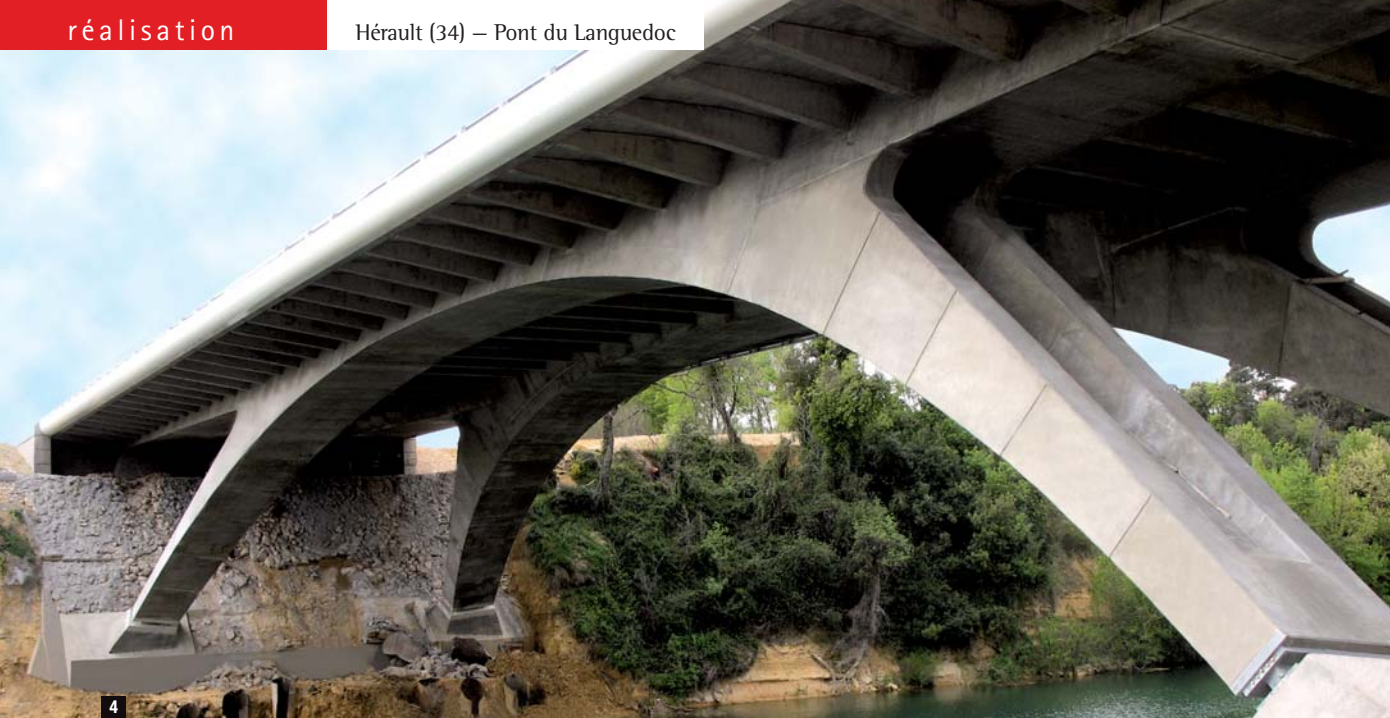
### Une belle aventure humaine

Ce pont éphémère, qui a connu deux épisodes de crue avec des hauteurs d'eau dépassant les 5 m, a permis la mise en œuvre des 11 000 t de béton, avec emploi de BHP (Béton à Hautes Performances) ayant permis d'affiner l'ouvrage, en une cinquantaine de phases de bétonnage du nouveau pont. Des appareils d'appuis du type sphérique permettent de reprendre les efforts à la base des béquilles d'arc en rive droite, tandis que d'autres appareils d'appuis, spécialement étu-



diés pour cet ouvrage, servent à la base des béquilles rive gauche pour la reprise d'efforts entre 2 000 et 3 000 t. La fondation en rive gauche est composée de 90 micro-pieux de longueur suffisante pour venir s'ancrer dans le sol rocheux situé à une profon-

deur moyenne de 15 m et placés en éventail. Reliée aux béquilles à l'aide du massif de fondation en béton armé et protégée par un batardeau de palplanches, cette grappe de micro-pieux est conçue pour résister à des efforts normaux de 150 t chacun.



4

➤➤➤ 4 Un arc en Béton à Hautes Performances de 70 m de long franchit l'Hérault.

*“Par la complexité de sa géométrie et du fait qu’il a été entièrement coulé sur cintre, c’est un ouvrage vraiment exceptionnel. Pourtant il ne m’a pas*

*paru particulièrement difficile à réaliser. Par-contre, cela a été long : deux ans et demi de travaux précédés de sept mois d’études d’exécution. Et il*

*a fait l’objet de vérifications constantes, tant au niveau des études, que lors des phases de réalisation”, poursuit Bruno Vachin, chef de projet au Service d’Ingénierie Routière (SIR) de la DIR Méditerranée chargé des travaux de l’autoroute A 750, qui a assuré les fonctions de délégué du maître d’œuvre sur place, c’est-à-dire la gestion technique et financière du marché. Le Pont du Languedoc a été inauguré le 11 juin 2008. La fin d’une belle aventure. “La construction de cet ouvrage a nécessité une très forte mobilisation de l’ensemble des participants (entreprises, bureau d’études, experts, administrations) pour faire face aux nombreux challenges, tant techniques qu’organisationnels qu’il a fallu relever. Cela restera dans les mémoires, j’en suis persuadé, comme une très belle aventure humaine, ancrée sur les rives de l’Hérault, en espérant pour le pont lui-même, une aussi belle histoire que son ancêtre du XVIII<sup>e</sup>”, conclut Patrick Burté, chef du service de maîtrise d’ouvrage de la Direction Régionale de l’Équipement (DRE) Languedoc - Roussillon. ■*

TEXTE : MICHEL BARBERON

PHOTOS : MICHEL BARBERON



**Maître d’ouvrage :**

SMO Montpellier  
DRE Languedoc-Roussillon

**Maître d’œuvre :**

SIR Montpellier, DIR Méditerranée

**Concepteur général :**

Michel Virlogeux

**Architectes :**

Charles Lavigne, Thomas Lavigne,  
Christophe Chéron

**Concepteur-vérificateur :**

Patrice Kirschner - Secoa

**Études d’exécution :**

Arcadis (Lyon)

**Entreprise :**

GFC Construction (filiale régionale  
de Bouygues Construction)

**Précontrainte :**

VSL International

**Béton :** Unibéton

Coût :  
30 M€ HT

technique

## BHP : Les contrôles du CETE de Strasbourg et du LCPC de Nantes

Élaboré par la société Unibéton, le matériau utilisé (3 500 m<sup>3</sup>) pour les parties principales de l’ouvrage (béquilles, nervures et pièces préfabriquées : pré-dalles, poutres, bandeaux de rives) est un Béton à Hautes Performances avec fumées de silice. Les arcs étant sensibles au fluage et la présence de la contre-béquille majorant l’effet hyperstatique en rive droite, le marché prévoyait la vérification du fluage du béton du chantier. Afin de contrôler les écarts possibles entre les calculs théoriques et le BHP utilisé, le Centre d’Etudes Techniques de l’Équipement (CETE) de Strasbourg a testé des éprouvettes d’essais. Les différences constatées ont ensuite été analysées par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes afin d’ajuster les paramètres de fluage pour le dimensionnement de l’ouvrage. Un processus qui, pour certaines parties du pont, s’est traduit par quelques renforcements des armatures.

BHP de classe de résistance C 70/85 avec fumées de silice pour améliorer ses caractéristiques vis-à-vis du fluage. Ce béton comprend pour 1 m<sup>3</sup> : 385 kg de ciment CEM I 52,5 PM ES, 630 kg de 0/4 calcaire, 280 kg de 0/4 silico-calcaire, 330 kg de 6,3/14 calcaire, 630 kg de 14/20 calcaire, 30 kg de fumée de silice, 150 l d’eau, 1,5 % de prelom 300, 1,3 % de tempo 12.



# Discrète élégance

>>> LE VIADUC DE L'ELLE SE SITUE

SUR L'AUTOROUTE A 89 ENTRE

BORDEAUX ET BRIVE-LA-GAILLARDE.

CET OUVRAGE A ÉTÉ DESSINÉ PAR

L'ARCHITECTE JEAN-LOUIS JOLIN

ET RÉALISÉ PAR L'ENTREPRISE

DEMATHIEU & BARD. IL COMPORTE

UNE STRUCTURE BIPOUTRE MIXTE

SUR SIX PILES EN BÉTON EN FORME

DE LOSANGE, HAUTES DE 19 M À 91 M.

MALGRÉ LEUR TAILLE, ELLES RESTENT

ÉLÉGANTES, VUES DE LOIN AUTANT

QUE DE PRÈS.







Cet ouvrage à sept travées de 474 m de long, situé dans le département de la Dordogne, sur la commune de Villac, franchit le ruisseau de l'Elle à une hauteur maximale de 100 m.

Pour respecter les différentes contraintes du programme, le groupement a choisi de réaliser un ouvrage en monatablier mixte de 19,40 m de largeur totale. Son tracé en plan en forme de S avec une courbure variable a nécessité de prévoir un ouvrage de sept travées avec une mise en œuvre par lançage depuis les deux extrémités. L'architecte a conçu un ouvrage occupant de la manière la plus simple possible une vallée

en V presque symétrique. Les différentes hauteurs des piles imposent un accroissement de leurs sections. Pour ce faire, il a choisi de marquer, par une variation nette, les changements

nécessaires entre les sections constantes des piles suivant leur hauteur. L'appui du tablier sur chaque pile se fait par un chapiteau puissant dont les formes soulignent la fonction. Les

quatre piles les plus hautes sont fondées chacune sur quatre puits marocains de 3 m de diamètre et de 6 à 7 m de profondeur. Les autres appuis sont fondés superficiellement.

## P

### oint de vue de l'architecte Jean-Louis Jolin

Pour la conception de ce viaduc, avec le directeur scientifique de l'entreprise Demathieu & Bard, Jacques Mossot, assisté par les bureaux d'études IOA et CERT, je souhaitais une silhouette assez dynamique mais peu voyante.

Le type de structure a été déterminé compte tenu de la grande hauteur des piles centrales. Au début nous avions envisagé une solution bi-tablier mais nous l'avons très vite abandonnée au profit d'un monatablier. Durant les semaines d'études, diverses solutions ont été comparées : un bipoutre classique avec pièces de pont et consoles ou bien une structure à caisson avec bracons supportant les abouts de dalles. La première solution n'est pas très originale, mais elle est bien maîtrisée par l'entreprise Demathieu & Bard, et peut être exécutée plus rapidement. Elle est surtout plus économique. La seconde solution est plus élégante, mais elle reste plus complexe à réaliser, donc plus coûteuse.

L'économie et la rapidité d'exécution ont donc été déterminantes pour ce projet, l'aspect général restait satisfaisant.

En ce qui concerne la forme des piles, de par leur proximité avec la route et de par leur taille, il importait qu'elles soient stables, bien entendu, mais qu'elles soient conçues comme des sculptures. Ainsi pour concilier élégance et stabilité dans l'exécution, nous avons opté pour une section constante, décroissant en montant, par tronçons successifs. Il en résulte des paliers sculptés en V inversé. La silhouette des piles est affinée par leur forme en losange. De plus, la partie supérieure haute des piles doit mettre en valeur le passage du support vertical à l'horizontalité du tablier. L'image d'une main ouverte qui porte une lourde planche en est une bonne illustration. J'ai ainsi dessiné des chapiteaux puissants, sculptés en dièdres faciles à construire. Ils s'ouvrent en V vers les deux poutres. La partie centrale évidée et foncée par l'ombre, accuse la transmission des efforts. ■

#### chiffres clés

- Béton :
  - Appuis : **9 950 m<sup>3</sup>**
  - Tablier : **2 900 m<sup>3</sup>**
- Armatures passives :
  - Appuis : **1 500 t**
  - Tablier : **680 t**
- Délais d'exécution : **25 mois**
- Longueur du tablier : **474 m**  
(45-2x76-80-2x76-45)
- Largeur du tablier : **19,40 m**





3

>>> **1** et **2** Les piles, au nombre de six, varient de 19 à 91 m de hauteur.

La silhouette des piles est affinée par leur forme en losange permettant de varier leur apparence par un jeu de lumière et d'ombre sur les faces quand le soleil se déplace.

**3** Le viaduc sur l'Elle s'insère parfaitement dans son site d'accueil.

## Une sculpture dans le paysage

Les piles, au nombre de six, ont une hauteur qui varie de 19 à 91 m. Par leur proximité avec la route et le chemin de randonnée et en raison de leur taille, elles sont prépondérantes dans la perception du viaduc. Il importait qu'elles soient stables, mais que, malgré leur taille, elles restent élégantes, de loin comme de près. La facilité d'exécution conduisait à une section constante. Mais celle-ci – ou trop étroite en pied, ou trop lourde en tête – risquait d'être instable et inesthétique. L'élégance et la stabilité militaient pour une section s'affinant du bas vers le haut. Pour concilier ces impératifs apparemment contradictoires, l'architecte a opté pour des sections constantes, décroissant en montant par tronçons successifs : un pour les plus petites piles, deux pour les moyennes, trois pour les plus hautes.

La section extérieure des piles est constante par niveau, le noyau intérieur est de section constante. Les dimensions respectives des trois types de sections sont : 11 m x 5,60 m / 10 m x 5,10 m /

9 m x 4,60 m, avec des épaisseurs respectives des voiles de 0,86 m / 0,63 m / 0,40 m. La hauteur des levées de bétonnage est de 4 m. Le changement de sections se fait sur la hauteur d'une levée de bétonnage, il est matérialisé par une coupure inclinée sur chaque face du losange. La silhouette des piles est affinée et rendue plus vivante par leur forme en losange. En effet, l'ouvrage étant sur un axe sensiblement est-ouest, le déplacement du soleil entre matin et soir permet d'éclairer alternativement les quatre faces de chaque pile selon des incidences variables. Leur perception évolue au fur et à mesure que l'on se déplace, comme une sculpture. Les parements sont en béton gris clair et des joints en creux de 8 x 2 cm marquent les levées du coffrage tous les 4 m.

## 100 m au-dessus de l'Elle

Les culées sont encadrées par des murs en retour englobant le tablier et les caniveaux latéraux. Une légère inclinaison de leurs extrémités – parallèles aux têtes des chapiteaux – dynamise

leur silhouette. Ils sont traités en béton clair avec des parements offrant un aspect net et lisse, discrètement soulignés par les joints entre panneaux de coffrage. La structure du tablier comporte deux poutres reconstituées soudées en I de 2,90 m de hauteur. Elles sont liaisonnées tous les 4 m par des pièces de pont se prolongeant en consoles. Cette structure reçoit un hourdis constitué d'éléments préfabriqués en béton armé pour la moitié de son épaisseur et coulé en place pour l'autre, liaisonné à l'aplomb des éléments porteurs. Cette solution constructive permet d'allier la qualité de finition à la rapidité d'exécution.

La configuration assez mouvementée du site fait que le viaduc, pourtant assez long, est relativement peu visible du sol. Les meilleures vues sont obtenues depuis les chemins qui montent au hameau de Serre-Bru à l'ouest et à la ferme Muratel à l'est. De la RD 64, on devine le tablier en hiver entre les arbres, et on ne découvre l'ouvrage et ses piles qu'en s'approchant dessus. Ces faibles occasions de voir le viaduc ne pouvaient être un prétexte à en sacrifier l'aspect. ■

TEXTE : AUDE MOUTARLIER

PHOTOS : PASCAL LE DOARÉ



**Maître d'ouvrage :**  
Autoroutes du Sud de la France

**Assistance à maîtrise  
d'ouvrage :**  
SETEC

**Entreprises :**  
Demathieu & Bard  
(mandataire) – Dodin

**Architecte :**  
Jean-Louis Jolin

**Maître d'œuvre conception :**  
Demathieu & Bard

**Coût :**  
21 M€ HT



# Un concentré de défis techniques et d'ouvrages

>>> SUR 19 KM ENTRE SAINT-JULIEN-EN-GÉNEVOIS / VILLY-LE-PELLOUX ET SAINT-MARTIN BELLEVUE, EN HAUTE-SAVOIE,

LE TRONÇON A 41 NORD EST EN FIN DE CONSTRUCTION. ON Y RECENSE QUATRE GRANDS VIADUCS, UN TUNNEL BITUBE

À 2 X 2 VOIES UNIDIRECTIONNELLES, UNE TRANCHÉE COUVERTE ET D'IMPORTANTES MURS DE SOUTÈNEMENT. UN TEL CONCENTRÉ

D'OUVRAGES SE JUSTIFIE PAR LE RELIEF PRONONCÉ DE CETTE RÉGION MONTAGNEUSE, MAIS AUSSI PAR LA RECHERCHE

DE SOLUTIONS TECHNIQUES SOPHISTIQUÉES DESTINÉES À PRÉSERVER AU MAXIMUM L'ENVIRONNEMENT, TOUT EN INTÉGRANT

AU MIEUX L'AUTOROUTE DANS LES PAYSAGES TRAVERSÉS.



C'est un tronçon autoroutier en fin de construction. Un tronçon court certes, mais qui constitue néanmoins un maillon indispensable et jusqu'alors manquant. Via les autoroutes A 43 et A 41, ce tronçon A 41 Nord va en effet boucler un axe autoroutier régional majeur. Il est destiné à relier les principales villes du sillon alpin : Grenoble, Chambéry, Annecy, Genève, la distance entre ces deux dernières villes sera alors parcourue en moins d'une demi-heure. Il facilitera la desserte des aéroports d'Annecy et de Genève. Il permettra un accès rapide par Bellegarde à la ligne TGV Paris – Dijon passant par le Haut-Bugey. La douzaine de communes traversées par l'actuelle Route Départementale 1201 (ex : RN 201), qui subissent au quotidien le passage de plus de 20 000 véhicules occasionnant de sérieux embouteillages, devraient aussi beaucoup y gagner en tranquillité et en sécurité. Une bonne partie de ce trafic sera bientôt reportée vers le nouveau tronçon

où sont attendus de 20 000 à 22 000 véhicules/jour, dont 5 % de poids-lourds.

### Un véritable pari technique

Ce projet est un véritable pari technique, dans la mesure où l'on a concentré un nombre important d'ouvrages complexes de toute nature, faisant appel aux différentes techniques de construction, depuis les murs cloûés et ancrés jusqu'aux colonnes ballastées en passant par les 2x3 km de tunnel à forer dans la molasse argilo-gréseuse du Mont-Sion présentant de nombreuses failles.

Ce pari, les sociétés du groupe Bouygues constituées en GIE pour l'opération, ont proposé de le réaliser en 29 mois. On recense donc quatre grands viaducs, un tunnel bitube à 2 x 2 voies unidirectionnelles, de 3,1 km de longueur, creusé au tunnelier, une tranchée couverte longue de 290 m et des murs de soutènement jusqu'à 12 m de hauteur représentant envi-

ron 650 m de linéaire cumulé pour stabiliser un versant. On comptabilise aussi 26 ouvrages d'art (9 passages supérieurs, 17 inférieurs) dits "courants", mais qui, en fait, pour plusieurs d'entre eux, ne le sont pas vraiment. Sans oublier un échangeur avec les autoroutes A 40 et A 401 à Saint-Julien-en-Genevois, un demi-diffuseur à Copponex, 2 demi-diffuseurs pour desservir Cruseilles, un échangeur avec l'autoroute A 410 à hauteur de Villy-le-Pelloux, une barrière de péage pleine voie à Saint-Martin-Bellevue (29 voies) dont la réalisation se fait sous circulation en maintenant la perception des péages (A 410 Annecy - Chamonix) et une aire de repos à proximité des ponts de La Caille.

### La prise en compte du développement durable

Un tel concentré d'ouvrages se justifie tout d'abord par le relief prononcé de cette région semi-montagneuse, mais aussi par

le fait que des solutions techniques sophistiquées ont été recherchées pour préserver au maximum l'environnement et tenter d'intégrer au mieux l'autoroute dans les paysages traversés. Ces aménagements prennent part à la réflexion engagée par le Conseil général de Haute-Savoie visant à tirer le meilleur parti, au plan économique et humain, de cette nouvelle infrastructure. Dès l'origine d'ailleurs, le projet prévu par la société ATMB (Autoroute et Tunnel du Mont-Blanc), qui était alors pressentie comme concessionnaire, avait envisagé de franchir le Mont-Sion par un tunnel et aussi de créer une tranchée partiellement couverte dans le secteur du Noiret. Mais, alors que les travaux étaient déjà engagés depuis une année, tout s'arrête en 1998 car Bruxelles ne reconnaît pas la concession. Suite au nouvel appel d'offres européen lancé en 2004, ADELAC, filiale de la société AREA (groupe APRR) et du groupe Bouygues, du groupe Caisse d'Épargne Rhône-Alpes et de Setec, est



>>> 1 Viaduc du Nant de Pesse-Vieille.  
2 Viaduc du Nant de la Folle.  
3 Viaduc des Usses.



## chiffres clés

- Longueur : **19 km**
- Délai de réalisation : **38 mois**
- Déblais, remblais : **7 millions de m<sup>3</sup>**
- Tunnel : **18 300** voussoirs
  - Béton : voussoirs **97 000 m<sup>3</sup>** (C50/60)
  - Têtes de tunnel, niches, inter-tubes (C35/45) : **28 000 m<sup>3</sup>**
- Ouvrages d'art exceptionnels
  - béton : **28 000 m<sup>3</sup>**
  - acier : **6 600 t**
- Ouvrages d'art courants (29)
  - béton : **30 000 m<sup>3</sup>**
- Viaducs
  - Nant de la Folle :  
5 travées, **264 m**
  - Nant de Saint-Martin :  
3 travées, **270 m** pour le tablier est,  
**264 m** pour l'ouest
  - Nant de Pesse-Vieille :  
3 travées, **212 m**
  - Vallée des Ussets :  
5 travées, **360 m**
- Tunnel du Mont-Sion : **3,1 km**, bitube
- Tranchée couverte du Noiret : **290 m**
- Murs de soutènement : **650 m**

retenue comme concessionnaire pour une durée de 55 ans. Les missions de cette société ? Concevoir, construire, exploiter, gérer la maintenance de l'autoroute, et assurer le financement de 871,5 millions d'euros du projet "sans aucune subvention publique". ADELAC poursuit et intensifie la démarche de développement durable. Elle optimise le calage du tracé de l'autoroute, réduit son emprise, limite au maximum les déboisements, étudie de nouvelles implantations pour les Zones de Matériaux Excédentaires (ZME) et s'engage à les remettre en état de culture. Un principe ayant nécessité la mise en œuvre de terre végétale sur ces zones de sous-couches agricoles. Un important travail est par ailleurs mené en collaboration avec les services de l'État pour que l'impact de la nouvelle autoroute, inscrite au Schéma Directeur routier national depuis... 1988, soit complètement transparent vis-à-vis de l'écoulement des eaux. La Commission Départementale des Sites et Paysages émet un avis favorable sur les dispositions constructives proposées dans le secteur des Ponts de la Caille dont l'architecture du viaduc des Ussets et les aménagements paysagers environnants. Même les écrevisses à pieds blancs, espèce protégée depuis juillet 1983, ont obtenu que leur

habitat soit préservé grâce à un ouvrage très important dont les culées sont perchées à 23 m de haut alors que le simple franchissement hydraulique prévu à l'origine les aurait mises en danger...

## Un planning contraint

Outre les aspects purement techniques, l'autre grand défi à relever pour le GIE Constructeurs A 41 était le délai de réalisation. En octobre 2005, dès l'instant où elle en est devenue officiellement concessionnaire, ADELAC s'était en effet engagée contractuellement à construire cette autoroute en seulement 38 mois, 9 mois étant consacrés au développement et 29 mois à la construction proprement dite. Alors que la convention de concession liant l'État et ADELAC avait été seulement approuvée par décret le 27 octobre 2005, l'objectif visait à profiter de la saison d'été 2006 pour démarrer les terrassements. Le non-respect de la date d'ouverture prévue le 28 décembre 2008 pouvant en effet entraîner de très fortes pénalités pour le constructeur. "Ce planning extrêmement contraint nécessite une réactivité forte de tous les acteurs y compris des Services de l'État, une communication importante au travers de nombreuses

réunions de concertation, Revues de Projet et une organisation sans faille", reconnaît aujourd'hui Régis Lanaud, Directeur Technique d'ADELAC.

## Le recours à l'ingénierie concourante

Le chantier est morcelé et entrecoupé de nombreux obstacles naturels à franchir, les accès sont limités, les sols très hétérogènes, les sujétions environnementales très fortes. Pour assurer ces contraintes sur le plan technique et en termes de délais, le GIE Constructeurs A 41, qui met au point et adapte des techniques innovantes, retient notamment deux solutions. La première, le recours à l'ingénierie concourante qui a représenté un élément clé pour la réalisation, en neuf mois seulement, de la phase développement du projet. Cette méthode consiste à intégrer à chaque étape d'avancement du projet les différentes données venant des nombreuses études en cours (géologie, hydraulique, environnement, impacts bruit, etc.), les paramètres issus de la définition des solutions constructives des entreprises, ou encore les retours d'information de la concertation. Seconde solution privilégiée dans un souci d'efficacité et de réactivité, l'organisation





6



7

>>> 4 et 5 La tranchée couverte du Noiret se présente sous la forme d'une double voûte en béton armé. Elle protège les habitants du hameau voisin des nuisances sonores de l'autoroute. 6 Mur de soutènement de Troinex. 7 Vue d'un des tubes unidirectionnels à deux voies du tunnel du Mont-Sion.

du chantier en sous-projets et par "métiers". Bouygues Travaux Publics a ainsi en charge la réalisation du tunnel et des viaducs, GFC et Quille les ouvrages d'art courants et les bâtiments d'exploitation de l'autoroute, DTP Terrassement les terrassements, l'assainissement et les ouvrages de soutènement. Les techniciens ont joué avec la météo parfois capricieuse. Un premier hiver 2006-2007 correct leur avait permis de prendre de l'avance qu'ils ont perdue au cours du mauvais été 2007, puis rattrapée grâce à une belle arrière saison. En juillet 2008, le planning était tenu. Colas et ses filiales, chargés des travaux de chaussées, ont démarré les revêtements routiers.

#### Quatre viaducs

Quatre brèches étroites et profondes à franchir... C'était l'un des défis, parmi beaucoup d'autres, que les ingénieurs et techniciens se devaient de relever en seulement 25 mois. D'où la naissance de quatre grands viaducs. "C'était la problématique : franchir simultanément ces quatre brèches avec de nombreuses interfaces – dont les culées interférant avec les travaux linéaires –, tout en minimisant l'impact sur l'environnement, les versants boisés, les cours d'eau, les habitations", explique

Jean-Luc Bouchet, Directeur d'exploitation Viaducs et Béton au sein du GIE A 41. Leur réalisation a d'abord été précédée par la création dans un relief souvent très escarpé de pistes et plates-formes d'accès pour pouvoir réaliser les fondations dans des sols de qualité très hétérogène et ensuite ériger les hautes piles en béton. Les viaducs du Nant de la Folle (264 m, 5 travées, 40 m de hauteur environ), du Nant de Saint-Martin (270 m pour le tablier Est et 264 m pour l'Ouest, 3 travées, 70 m de hauteur), du Nant de Pesse-Vieille (212 m, 3 travées, 40 m de haut) sont constitués de structures mixtes à 2 voies (bipoutre et hourdis en béton armé) à entretoises. Le viaduc de la vallée des Ussets (360 m, 5 travées, 66 m de hauteur) comporte un tablier 2 x 2 voies constitué d'un bipoutre métallique à pièces de pont et d'un hourdis en béton armé de 25 cm d'épaisseur. Celui-ci a été réalisé à l'aide de pré-dalles collaborantes préfabriquées, puis posées à l'avancement à l'aide d'un équipage mobile. Au total, ces viaducs cumulent 1 182 m de pieux, 20 piles, 7 tabliers. Ils ont nécessité la mise en œuvre de 24 000 m<sup>3</sup> de béton armé, 4 070 t d'armatures passives et 6 450 t de structures métalliques.

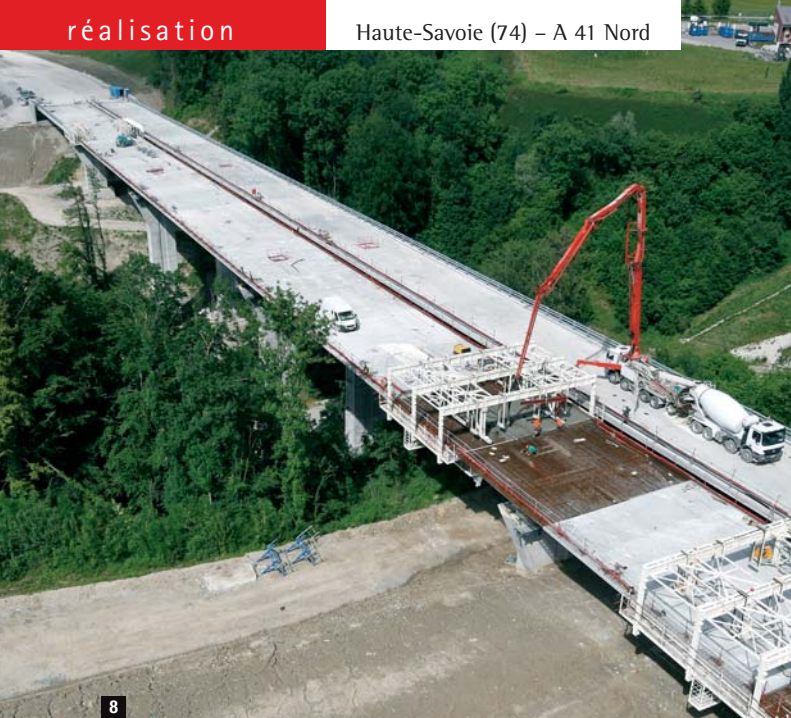
#### logistique

### Une logistique pointue

La société Vicat a fourni 70 000 t de ciment pour les deux centrales à béton montées par les entreprises du GIE Constructeurs A 41 qui ont fabriqué l'essentiel des bétons, le complément provenant de centrales fixes situées à proximité. Les ciments, mais aussi les 10 000 t de liants routiers, venant de ses différents sites de production, pour répondre aux cadences souhaitées par le client. La société a organisé une logistique lourde avec transport par trains, par camions associés à des sites de stockage de grande capacité. "Les premières livraisons ont débuté en août 2006, les dernières auront lieu cet automne pour quelques finitions. 80 000 t de matériaux à livrer sur deux ans, avec des commandes presque au jour le jour, ce n'est pas anodin comme prestation. Tout s'est bien déroulé", se réjouit Pierre Ferlay, le Directeur Régional Alpes chez Vicat. Son équipe et les Services Logistiques de la Direction Commerciale ont mené à bien cette mission.

>>> Plan d'ensemble du projet A 41 Nord





8



9

➤➤➤ **8** Viaduc du Nant de la Folle, phase de bétonnage du tablier. **9** Les voussoirs préfabriqués en béton, pesant 16 t chacun, du tunnel du Mont-Sion sur l'aire de stockage à Présilly.

## Deux tunnels

Deux tunnels parallèles, longs chacun de 3 100 m, d'un diamètre intérieur de 10,70 m comportant deux voies de circulation monodirectionnelles, pour franchir discrètement sous une couverture variant entre 50 et 150 m le Mont-Sion, entre les communes de Présilly au nord et d'Andilly au sud... C'est sans doute l'ouvrage majeur de l'A 41 Nord. Pressenti pour réaliser les travaux et compte tenu des délais, Bouygues TP n'avait pas hésité à anticiper de plusieurs mois la commande du tunnelier baptisé Adélaïde qui allait le creuser. Fonctionnant à mode ouvert, ce monstre conçu par la société allemande Herrenknecht, qui est équipé de 24 vérins développant une poussée de 8 200 t, mesure au total 185 m avec son train suiveur de 11 remorques. Outre son diamètre de 11,93 m qui lui donne le titre de plus grand tunnelier jamais mis en service en France, il s'agit aussi d'un prototype. Pour traverser la molasse, des roches compactées par les grands glaciers, la méthode dite "Suisse" a été mise en œuvre pour la première fois dans l'Hexagone. La clé fermant l'anneau (2 m de largeur) drainé, constitué de six voussoirs, se situe systématiquement en partie basse. Les campagnes de reconnaissance, dont la

première a été menée par Simescol, suivie de celle d'ATMB, puis de celle d'ADELAC, toutes trois validées par le Centre d'Études Techniques des Tunnels (CETU), ont permis de confirmer aux techniciens qu'ils allaient rencontrer pas moins de 12 failles majeures. Mais le rythme d'avancement moyen du tunnelier a malgré tout atteint 30 m/jour, avec quelques pointes beaucoup plus élevées. Il a excavé deux fois 340 000 m<sup>3</sup> de déblais et posé 18 300 voussoirs, pesant 16 t chacun, qui ont été réalisés dans une usine de préfabrication construite à proximité du chantier. Creusé en huit mois, le premier tube a été percé le 12 juin 2007. Le second, entamé le 10 septembre suivant, a débouché le 6 mars 2008 soit un peu moins de six mois plus tard.

## Une tranchée couverte

Les habitants du hameau du Noiret, sur la commune de Cruseilles, qui ont déjà la RD 1201, axe très fréquenté reliant Annecy à Genève, ne seront pas gênés par les nuisances sonores de la nouvelle infrastructure. À cet endroit, l'A 41 passe en effet en souterrain grâce à une tranchée couverte longue de 290 m. Celle-ci se présente sous la forme d'une double voûte en béton armé (classe de résistance C35/45),

chacune d'elle s'appuie sur deux piédroits porteurs verticaux extérieurs et un central, commun aux deux voûtes, qui marque la séparation entre les deux sens de circulation autoroutière. Compte tenu du site, l'architecture des tympans des têtes a été particulièrement travaillée avec le Cabinet d'Architecture Lavigne-Chéron. Après la mise en place d'une étanchéité et le remblaiement, le paysage retrouvera son aspect naturel.

## Les murs de soutènement de Troinex

Sur le versant de Cruseilles, l'A 41 passe en chaussées décalées entre les deux viaducs sous la Zone Humide des Ebeaux pour laquelle ADELAC s'est engagé à préserver l'éco-système. Dans un site géotechniquement très complexe, il a fallu réaliser 700 ml de murs composés de drains subhorizontaux et de poutres tirantées. Là encore, la particularité du site et des paysages a nécessité l'intervention du Cabinet Lavigne-Chéron pour mettre au point des parements matricés spécifiques. ■

TEXTE : MICHEL BARBERON

REMERCIEMENTS : RÉGIS LANAUD,

DIRECTEUR TECHNIQUE D'ADELAC

PHOTOS : PHOTOTHÈQUE D'ADELAC



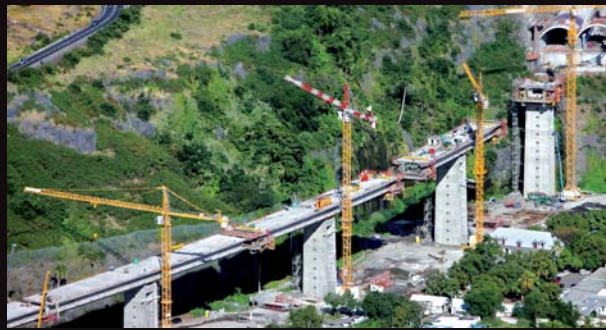
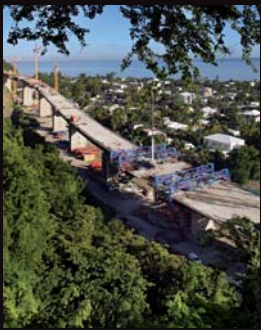
**Maître d'ouvrage :**  
ADELAC composé de :  
AREA (groupe APRR),  
Bouygues Construction  
(Bouygues TP,  
GFC Construction,  
DTP Terrassement, Quille),  
Colas,  
Caisse d'Épargne,  
Setec

**Ingénierie du projet :**  
Groupement entre Setec  
et les entreprises de construction  
(Bouygues TP, GFC Construction,  
Quille, DTP Terrassement,  
Colas Rhône-Alpes,  
Screg Sud-Est, Sacer Sud-Est)

**Architectes :**  
Charles Lavigne, Thomas Lavigne,  
Christophe Chéron  
pour les ouvrages d'art

**Coût :**  
**871,5 M€ HT**





>>> Viaduc et tranchée couverte de Saint-Paul.



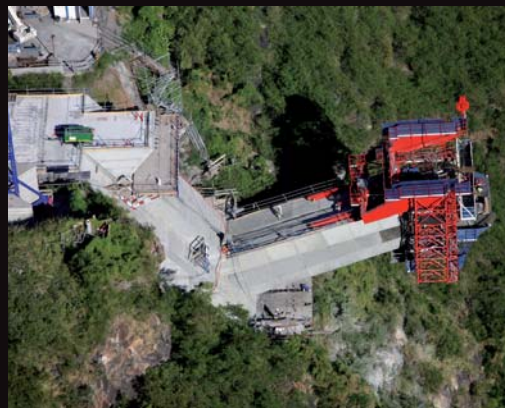
>>> Ravine des Trois-Bassins.



>>> Grande Ravine.



>>> Ravine Tabac.



PHOTOS : HERVÉ DOURIS (p. 13 ET 14)





# La grande vitesse au cœur des régions

>>> LA BRANCHE EST DE LA LGV RHIN-RHÔNE EST ACTUELLEMENT EN CONSTRUCTION DANS UN TERRITOIRE SITUÉ ENTRE DIJON, BESANÇON, BELFORT ET MULHOUSE. SA RÉALISATION AMÉLIORERA GRANDEMENT TOUTES LES RELATIONS EST-OUEST, ENTRE L'ÎLE-DE-FRANCE, LA BOURGOGNE, LA FRANCHE-COMTÉ, LE SUD DE L'ALSACE ET LA SUISSE. LE CHANTIER DE CETTE NOUVELLE LIGNE S'ÉTEND SUR 140 KM, AUXQUELS S'AJOUTE UNE DIZAINE DE KILOMÈTRES DE RACCORDEMENTS. ON Y DÉNOMBRE PAS MOINS DE 160 PONTS, 13 VIADUCS, 1 TUNNEL DE PRESQUE 2 KM ET 32,5 KM DE PROTECTIONS ACOUSTIQUES.



1



2

>>> 1 D'un poids unitaire de 4 t, les corniches en béton armé sont préfabriquées en usine.

2 Les cages d'armature des poutres principales des estacades, longues de 22 m et hautes de 2,05 m sont assemblées sur le site à l'aide de gabarits.

Cette nouvelle ligne à grande vitesse va beaucoup accélérer les relations entre la province et... la province. Toutes les lignes antérieures, la LGV Est-européenne mise en service en juin 2007, la ligne Méditerranéenne en 2001, la Nord-Europe en 1989 et le sud-ouest en 1990, partaient en effet de Paris, ou du moins de la proximité de la capitale.

#### chiffres clés

- Longueur du projet : **140 km**
- 160 ponts-routes et ponts-rails (cadres, portiques, voûtes en béton armé, ponts-dalles en béton armé ou en béton précontraint)
- 12 grands viaducs
- 1 tunnel : **1 970 m**
- 1 tranchée couverte : **170 m**
- 2 gares
- Béton : **380 000 m<sup>3</sup>**
- Déblais : **30 millions de m<sup>3</sup>**
- Remblais : **22 millions de m<sup>3</sup>**
- Écrans acoustiques : **5 200 m**
- Traverses : **500 000**
- Clôtures : **400 km**

#### Raccourcir les distances

La branche Est de la LGV Rhin-Rhône, dont les travaux ont officiellement été lancés le 3 juillet 2006 par le ministre des Transports, est en construction sur un axe situé entre Dijon, Besançon, Belfort et Mulhouse. Comme dans tout projet de cette envergure, les travaux ont été précédés, dès la fin 2004, de fouilles archéologiques pour lesquelles Réseau Ferré de France (RFF), le maître d'ouvrage, a financé 10 millions d'euros. Ensuite, l'exploitation de sept carrières de matériaux nobles situées près de la future ligne a très vite obtenu les autorisations administratives. Dès l'automne 2005 démarraient les déviations des réseaux d'eau, de gaz, d'électricité pour libérer la trace ferroviaire à créer. Cette ligne, déclarée d'utilité publique le 25 janvier 2002, pour laquelle RFF a tenu à associer très étroitement les élus, la population et les organisations agricoles lors de l'ensemble des étapes, et où les enjeux environnementaux ont été pris en compte très en amont, fait aujourd'hui assez peu parler d'elle. Pourtant, ce maillon représente un véritable symbole de l'aménagement du territoire. Il améliorera grandement toutes les relations est-ouest, entre l'Île-de-France, la Bourgogne, la Franche-Comté, le sud de l'Alsace

et la Suisse. À terme, le schéma de dessertes permettra aussi de relier en liaisons à grande vitesse directes les régions Alsace, Franche-Comté et Bourgogne à celles de Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées.

#### L'un des plus grands chantiers actuels de Génie Civil

Créée dans la région la plus boisée de France - 40 km cumulés de son linéaire représentant une surface de 540 ha se situent en forêt - la construction de la LGV Rhin-Rhône s'étend sur 140 km, auxquels s'ajoute une dizaine de kilomètres de raccordements. Mais en fait, il s'agit là d'une première phase. Une seconde, que ses nombreux partisans souhaitent voir engagée le plus vite possible, doit en effet compléter par la suite ses extrémités. C'est-à-dire les 15 km qui manquent côté Dijon et les 35 km à proximité de Mulhouse. "Ces deux branches sont déclarées d'utilité publique et les études d'avant-projet détaillées sont déjà faites. Il appartient maintenant aux partenaires et décideurs de donner un calendrier pour la suite. À RFF, on est prêt à enchaîner", souligne Marc Svetchine, directeur régional RFF, qui assure la fonction de directeur d'Opérations LGV Rhin-Rhône.

Considérée comme l'un des plus grands chantiers actuels de Génie Civil sur le territoire, la LGV branche Est première phase concerne 85 communes, 3 régions et 6 départements. Les travaux d'infrastructure ont été scindés en trois tronçons géographiques, comportant eux-mêmes un certain nombre de lots. Le A (56,5 km, 5 lots) de Villers-les-Pots (Côte d'Or) à Chevroz (Doubs), le B (57 km, 4 lots) de Voray-sur-l'Ognon à Saulnot (Haute-Saône), le C (30 km, 6 lots) qui s'achève sur la commune de Petit Croix, sur le Territoire de Belfort. Les 140 km comptabilisent pas moins de 160 ponts, 13 viaducs, 1 tunnel de presque 2 km et 32,5 km de protections acoustiques. Le modelage du terrain nécessite de déplacer 30 millions de m<sup>3</sup> de déblais et d'édifier 22 millions de m<sup>3</sup> de remblais dont 17 millions proviendront directement des déblais. 5 millions de m<sup>3</sup> de matériaux devront être extraits de sites d'emprunt et de carrières existantes. Par ailleurs, deux gares nouvelles, dont la fréquentation devrait atteindre 1,1 million de voyageurs par an, sont prévues. Une sur la commune de Meroux, au sud de Belfort. L'autre sur celle d'Auxon-Dessus, au nord de Besançon. Malgré les intempéries, notamment beaucoup de pluie, le chantier avance bien. "La partie délicate, c'était les terrassements surtout dans la partie Jura





3

3 Pile du viaduc de la Lizaine.

et Doubs où les sols sont fins, donc très sensibles à l'eau. Mais aussi la construction des ponts-cadre et des ouvrages hydrauliques situés dans des points bas, conclut Marc Svetchine. Les grands ouvrages d'art sont moins sensibles à la pluie. Ils le sont quand il fait très froid, mais les deux derniers hivers ont été plutôt doux. La date de livraison de la ligne est toujours prévue pour fin 2011."

### Tunnel de Chavanne

Les 6 km du lot C1, à l'est de la ligne, comportent deux beaux ouvrages de Génie Civil : le tunnel de Chavanne et la tranchée couverte du Bois de la Faye. Située sur la commune d'Aibre, cette dernière, réalisée à ciel ouvert, sera ensuite recouverte pour redonner à la butte son aspect d'origine, un souhait exprimé par les riverains lors des phases de concertation. La voûte en béton de cette tranchée couverte de 170 m, d'une section de 100 m<sup>2</sup>, est réalisée par tronçons de 10 m à l'aide d'un outil coffrant. Seul ouvrage de ce type sur l'ensemble de la ligne, le tunnel de Chavanne (1 970 m) est encadré par des "faux tunnels" construits à ciel ouvert qui seront remblayés ensuite, mesurant 190 m à l'ouest et 50 m à l'est. Les campagnes de sondage qui avaient été menées et des travaux préparatoires ont

permis aux entreprises de mieux connaître les terrains à traverser et d'adapter leurs méthodes de creusement dans une géologie tourmentée. Les travaux du tunnel ont été engagés en juin 2007 par les deux extrémités, sur une section de 120 à 140 m<sup>2</sup>, soit une surface utile de 80 m<sup>2</sup> au final. Côté ouest, l'avancée dans les marnes et roches est menée à l'aide de moyens mécaniques traditionnels : pelles équipées de fraise ou brise-roches hydraulique. Les déblais évacués, une protection est aussitôt réalisée avec un béton fibré projeté, la pose de boulons en fibre de verre de 18 m se chevauchant et de cintres métalliques renforce le front de taille. À l'est, les matériaux calcaires assez durs requièrent l'emploi d'explosifs. Menée en trois passes, la couche de béton projeté a une épaisseur variable de 15 à 30 cm. La réalisation du revêtement définitif en béton du radier (épaisseur 0,85 m à 1,40 m, béton C35/45) et de la voûte (épaisseur 0,45 m / 0,55 m et 0,60 m) est réalisée à environ 200 m en retrait du front de taille. Ces travaux souterrains, effectués en trois postes du lundi au vendredi par l'entreprise Spie Batignolles TPCI, devraient s'achever mi-2009. À cette échéance, quelque 224 000 m<sup>3</sup> de matériaux auront été extraits. Quant au béton, il représentera un volume de 120 000 m<sup>3</sup>.

### 1 340 m de viaducs

Entre Villers-les-Pots et Auxonne, dans la partie ouest de la ligne nouvelle en construction, le lot A1-A2 s'étend sur 7,6 km. Quelques zones de déblais, deux ponts-routes, un pont-rail, un passage à faune, dix ouvrages hydrauliques et la déviation de la ligne ferroviaire existante de Gray caractérisent ce lot. "Mais le gros du Génie Civil se situe dans la plaine de Saône. Il y a le viaduc sur la Saône, long de 380 m, à 9 traversées, 8 piles, dont 2 dans le lit de la rivière, qui est une structure mixte béton/métal. De part et d'autre de ce viaduc sont réalisés trois ouvrages hydrauliques de décharge entièrement en béton. Leur structure porteuse est constituée de quatre poutres, sensiblement une sous chaque rail, surmontées d'un hourdis en béton. Les moyens matériels ont été définis de manière à travailler sur un atelier "tablier" d'environ 200 ml d'ouvrage afin d'arriver à une activité continue des équipes. Après quelques cycles d'apprentissage, le chantier est aujourd'hui en ordre de marche", précise Romain Thomassier, responsable du lot chez GTM GCS, filiale de Vinci Construction.

La conception de ces ouvrages d'art, longs au total de 1 340 m avec création de trois Ouvrages Hydrauliques de Décharge (OHD),

a dû en effet tenir compte d'un phénomène naturel : les crues de la rivière. La transparence hydraulique totale à assurer et le fait de ne gêner aucunement l'écoulement des eaux, même en cas de très forte inondation – le rehaussement provoqué par la création d'un remblai ne devant en aucun cas excéder 1 cm, a conduit à la réalisation de ces trois estacades. Mesurant respectivement 192 m, 480 m et 288 m, elles prennent appui sur les rives par l'intermédiaire

### Les entreprises, mandataires des groupements

#### Tronçon A :

Roger Martin ; Vallée de la Saône : GTM Terrassement, GTM GCS ; Auxonne – Ougney : Guintoli ; Ougney – Chevrot : DTP Terrassement.

#### Tronçon B :

Voray – Loulans Verchamps : Eiffage TP ; viaducs de Quenoche, Linotte, Corcelles : GTM GCS ; Ormenans – Saulnot : GTM Terrassement.

#### Tronçon C :

Roger Martin ; tunnel de Chavanne, Villers-sur-Saulnot – Laire : Spie Batignolles ; viaduc du Pertuis, RN 83 : Demathieu & Bard ; Laire – Petit-Croix : Razel ; viaducs des Epenottes, de la Lizaine : Eiffage TP ; viaduc de la Savoureuse : Eiffel.



4



5



6

➤➤➤ 4 5 et 6 Le viaduc de la Linotte, près de Loulans-Verchamp en Haute-Saône (70), est un des nombreux viaducs franchissant la Saône.

de piles larges de 1,20 m et de 1,80 m au niveau du chevêtre sur lequel viennent s'appuyer les extrémités des tabliers. Les cages d'armature des poutres principales longues de 22 m et hautes de 2,05 m, les entretoises qui les relient, les chapeaux en partie supérieure des poutres, sont préfabriquées à proximité immédiate du viaduc à l'aide de gabarits. "La densité de ferrailage de ces poutres est très élevée : 280 kg/m<sup>3</sup>, explique Eric Zimmermann, directeur-adjoint du lot Génie Civil chez GTM GCS. Pour arriver à une bonne mise en œuvre du béton, nous avons optimisé les dispositions constructives des armatures avec l'armaturier de façon à pouvoir descendre la pompe et l'aiguille vibrante tous les 50 cm. Le béton est de classe de résistance C35/C45, de consistance S4". Pour les piles où la densité d'armatures atteint 100 kg/m<sup>3</sup>, et le hourdis, large de 12,56 m et épais de 25 cm, de ces trois ouvrages hydrauliques de décharge, le béton est un C35/45. "Pour respecter les délais très serrés, nous avons fait en sorte que les tâches, ferrailage et coffrage des poutres, du hourdis, s'imbriquent les unes dans les autres et qu'elles soient industrialisées au maximum. Pour cela nous avons fabriqué des outils spécifiques pour cet ouvrage, comme ces 14 cintres de 22 ml auto-por-

teurs". Les corniches en béton armé, d'un poids unitaire de 4 t, sont préfabriquées en usine près de Lyon. Elles sont approvisionnées au fur et à mesure sur le tablier et seront posées par un portique roulant sur celui-ci. Le même type de béton (C35/45) que celui des OHD fourni par une centrale BPE, a été utilisé pour réaliser les piles du viaduc passant au-dessus de la Saône. La formulation a été adaptée pour limiter la montée en température du béton aux premières heures après le bétonnage et les risques de fissuration. Une seule des deux piles implantées en rivière représente un volume de 250 m<sup>3</sup> de béton, reposant sur une embase de 340 m<sup>3</sup>, elle-même appuyée sur une semelle de 340 m<sup>3</sup> posée sur un bouchon immergé de 350 m<sup>3</sup>.

D'autres précautions ont dû être prises pour mener à bien ce chantier. En effet, ce viaduc passe au-dessus des "champs captants" qui alimentent en eau potable l'agglomération de Dijon. Au droit du chantier, une plate-forme de travail de 4 500 m<sup>2</sup> a été étanchée par une membrane PVC épaisse de 2 mm. Le système d'assainissement (fossés et bassin de décantation étanches, déshuileur) permet de traiter toute pollution (eaux de pluie susceptibles d'avoir été en contact avec

#### Les 13 viaducs principaux, d'ouest en est

Viaduc de la Saône et ses estacades :	1 340 m (190-480-380-290)
Viaduc de l'Ognon aval :	113 m
Viaduc de la Buthiers :	100 m
Viaduc de la Quenoche :	420 m
Viaduc de la Linotte :	362 m
Viaduc de l'Ognon amont :	178 m
Viaduc de Corcelles :	445 m (travées courantes 55 m)
Viaduc du Pertuis :	220 m
Viaduc d'Aibre Trémoins :	250 m
Viaduc des Épenottes :	450 m (travées courantes 54 m)
Viaduc de la Lizaine :	717 m (travées maximales 76 m)
Viaduc de la Savoureuse :	792 m (travées courantes 66 m)
Viaduc de la Madeleine :	110 m

des matières polluantes liées au chantier, comme les huiles de moteur, les gravats, etc.) sans risque de contamination des sols. Les pieux forés et bétonnés dans le sol pour les fondations des piles ont, quant à eux, été "gainés" avec une membrane étanche de façon à éviter tout contact du béton frais avec la nappe phréatique. ■

TEXTE : MICHEL BARBERON

PHOTOS : OUVERTURE, 1, 2 : MICHEL BARBERON / 3, 4, 5, 6 : RFF / WWW.IMATEC-PHOTO.COM



**Maître d'ouvrage :**  
Réseau Ferré de France, SNCF,  
Direction Projet – TGV Rhin-Rhône

**Maître d'ouvrage délégué :**  
Serm

**Assistance à maîtrise  
d'ouvrage :**  
Technique : Inextia (filiale SNCF)  
Gestion Projet : Setec  
Foncier : Afacor, Segat, Setis  
Communication : Lowe Stratéus

**CSPS :**  
Conception : Présents  
Réalisation : Bureau Veritas, Decta

**Maître d'œuvre  
tronçons A et C :**  
Setec. Architecture : Charles Lavigne,  
Thomas Lavigne, Christophe Chéron  
pour les ouvrages d'art

**Maître d'œuvre  
tronçon B :**  
Egis Rail. Architecture : Strates

Coût :  
2,3 M€ HT





# Des voussoirs en béton posés à l'avancement

>>> ÉLÉMENT ESSENTIEL DE LA DÉVIATION NORD-EST DE COMPIÈGNE ENTRE LA RD 932 À L'OUEST ET LA RN 31

À L'EST, LE VIADUC DE COMPIÈGNE, D'UNE LONGUEUR DE 2 143 M, EST EN COURS DE RÉALISATION.

IL PERMETTRA DE DÉSENGORGER UNE CIRCULATION TRÈS DENSE DANS CETTE ZONE. SA PARTICULARITÉ : UN TABLIER

CONSTRUIT "À L'AVANCEMENT" EN ASSEMBLANT À L'AIDE D'UN MÂT DE HAUBANAGE PROVISOIRE DES VOUSOIRS

PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON. L'UN DES GRANDS AVANTAGES DE CETTE POSE "À L'AVANCEMENT" EST LA RÉALISATION

RAPIDE DU TABLIER.



1

>>> 1 Maintenance d'un voussoir déviateur, à l'aide du portique.

La Direction Régionale de l'Équipement de Picardie a confié aux entreprises Campenon Bernard TP, Chantiers Modernes BTP et à GTM GCS, la réalisation du viaduc de Compiègne dans l'Oise (60) et de ses remblais d'accès. Cet ouvrage, situé en grande partie sur la commune de Choisy-au-Bac – seule l'extrémité ouest se trouve sur la commune de Clairoix – s'inscrit dans la déviation Nord-Est de Compiègne

entre la Route Départementale RD 932 à l'ouest et la RN 31 à l'est, dans le but de fluidifier la circulation très dense de cette zone. La brèche à franchir, en raison de la diversité des obstacles (l'Aisne, l'Oise, la voie ferrée Compiègne-Noyon, la RD 66 et une piste cyclable en rive gauche de l'Aisne) regorge de difficultés techniques et de contraintes environnementales.

### Transparence hydraulique

L'ouvrage a été conçu par le CETE Nord Picardie qui a étudié une solution mixte et une solution en béton construite par encorbellements successifs. "C'est la solution béton, construite à l'avancement à l'aide d'un mât de haubannage provisoire, plus écono-

mique, qui a été retenue, au détriment de la solution bipoutre mixte (acier-béton)", explique Jean-Claude Hébert, contrôleur divisionnaire dans le département de l'Oise et responsable du contrôle sur le chantier. Les travaux ont démarré en mai/juin 2007 et, avec une durée "d'environ 30 mois, la fin prévisionnelle des travaux est attendue pour septembre 2009", ajoute Jean-Claude Hébert, qui souligne également que pour ce franchissement, la solution consistant à construire plusieurs petits ouvrages d'art en alternance avec des remblais avait été analysée. Mais comme la zone de travaux est une zone inondable, la solution "viaduc" était la plus judicieuse car elle permet de conserver la transparence hydraulique.

Le viaduc présente une longueur de 2 143 m, il est composé de 3 ouvrages en appui sur 2 piles-culées, 2 culées et 33 piles de hauteur variant entre 4,5 m et 14 m. Le tablier, d'un poids de 38 400 t d'une hauteur constante de 3,2 m et d'une largeur de 12,75 m, se décompose donc en 3 parties (OA1, OA2 et OA3), de longueurs respectives 785 m, 712 m, et 646 m. Les portées courantes sont de 58,7 m, sauf au droit de quelques obstacles, notamment au niveau de l'Aisne (et le futur canal Seine-Nord Europe), où elles atteignent 66,5 m. Le profil en travers fonctionnel symétrique en toit à 2,5 % se compose comme suit : 2 voies de 3,50 m ; 2 bandes dérasées de droite de 1,50 m ; 1 terre-plein central de 1,50 m et 2 longrines support de glissières de 0,625 m.

### chiffres clés

- Tablier :
  - Longueur : **2 143,50 m**
  - Travées courantes : **58,70 m**
  - Travées principales : **66,50 m**
- Pieux (diamètres 1 400 et 1 600 mm) : **150 u, 2 700 ml**
- Béton :
  - Tablier : **15 000 m<sup>3</sup>**
  - Appuis : **15 000 m<sup>3</sup>**
- Précontrainte intérieure (19 T15S) : **300 t**
- Précontrainte extérieure (19 T15S et 25 T15S) : **450 t**
- Armatures passives : **5 500 t**
- Palplanches : **1 400 t**



>>> Vue intérieure d'une partie des voussoirs, stockés en attente de leur pose.





>>> **2** Cellules de bétonnage, avec voussoir placé en contre-moule. **3** Une partie du stock de voussoirs, vue depuis la grue du chantier. Le stockage sur deux niveaux permet un gain de place.

La première phase des travaux a consisté à terrasser et à préparer l'aire de préfabrication, puis à réaliser des batardeaux par vibrofonçage ou battage de palplanches, essentiellement afin de permettre de travailler au sec. Ensuite, les travaux se sont poursuivis par la phase de terrassement à l'intérieur des batardeaux, jusqu'au niveau de la semelle, puis par la réalisation de pieux forés, d'une longueur cumulée de 3 500 ml. Les piles reposent sur des semelles sur pieux de 1,4 et 1,6 m de diamètre, fondés à des profondeurs qui varient de 16 à 26 m.

### Une aire de préfabrication des voussoirs sur le chantier

Le tablier est constitué de 810 voussoirs préfabriqués en béton, dont la longueur varie de 1,40 à 2,80 m, réalisés directement sur l'aire de préfabrication du chantier. Le béton de classe de résistance C40/50 est mis en place dans les cellules de bétonnage, après que l'on y ait positionné avec précision les cages d'armatures. Le tablier et les appuis auront nécessité au total 30 000 m<sup>3</sup> de béton livrés depuis la centrale de béton prêt à l'emploi de Noyon, situé à une trentaine de kilomètres du site. Après décoffrage, les voussoirs sont entreposés dans une

aire de stockage. Ils seront ensuite assemblés afin de constituer le tablier.

### Des voussoirs posés à l'avancement

C'est la technique de pose à l'avancement qui a été retenue pour la mise en place des voussoirs. "Les voussoirs sont maintenus provisoirement par des câbles de haubanage", explique Marjorie Bourquencier, responsable maîtrise d'œuvre et chargée du projet du viaduc de Compiègne à la DIR Nord, Service d'Ingénierie Routière Ouest. La pose à l'avancement d'une culée à l'autre permet, et c'est l'un des grands avantages de cette solution technique, la réalisation rapide du tablier. L'alimentation des voussoirs par le tablier et leur positionnement à l'aide d'une potence libère l'emprise sous l'ouvrage. En outre, la mise en œuvre peut se faire grâce à un matériel "léger", en économisant de la précontrainte. Les voussoirs sont conçus avec des raidisseurs incluant des réservations qui permettent d'accueillir des barres de brèlage (barres qui assurent la solidarisation provisoire des voussoirs entre eux). Ils sont ensuite assemblés de manière définitive par des câbles de précontrainte.

Sur la première travée, les voussoirs sont posés avec une grue et assemblés sur un cintre de pose. La travée est ensuite précontrainte et décintrée.

À partir de la 2<sup>e</sup> travée, et pour toutes les suivantes, "le premier voussoir après celui sur pile est posé sur une console et brêlé au voussoir sur pile. Le 2<sup>e</sup> et le 3<sup>e</sup> sont brêlés et précontraints par des câbles intérieurs, de type fléau. Les trois premiers voussoirs ne sont pas haubanés. Le mât de haubanage est alors positionné au droit de la pile et, à partir du 4<sup>e</sup> voussoir, il va permettre de maintenir les voussoirs jusqu'au bout de la travée", complète Marjorie Bourquencier.

En phase courante, chaque voussoir est alimenté par le fardier roulant sur le tablier, puis pris en charge par la potence. Déplacée successivement en bout de fléau, celle-ci permet de positionner le voussoir, qui est brêlé au précédent puis solidarisé définitivement au tablier par des câbles de précontrainte. Chaque travée est construite successivement sur le même principe. L'ouvrage est ainsi réalisé à l'avancement, de la culée de départ vers la culée d'arrivée. ■

TEXTE : AUDE MOUTARLIER

PHOTOS : OUVERTURE, 3 : JEAN-CLAUDE HÉBERT,

DDE 60 1, 2 : AUDE MOUTARLIER



**Maître d'ouvrage :**  
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire / Direction Régionale de l'Équipement de Picardie / Service de Maîtrise d'Ouvrage (DRE Picardie SMO)

**Maître d'œuvre :**  
Direction Interdépartementale des Routes (DIR) Nord et Service d'Ingénierie Routière (SIR) Ouest

**Bureaux d'études projet :**  
CETE Nord Picardie DOA - SETRA CTOA-DGO

**Bureaux d'études exécution :**  
Arcadis (Tablier) Campenon Bernard Études (Appuis) Vindi (Méthodes)

**Entreprises :**  
Campenon Bernard - GTM GCS - Chantiers Modernes

**Architecte :**  
Pierre Loyer

**Coût :**  
46 M€ HT



# Une usine durablement intégrée dans le paysage

>>> CETTE NOUVELLE UNITÉ DE TRAITEMENT DES POLLUTIONS AZOTÉES RÉALISÉE SUR LE SITE SEINE AVAL

DU SIAAP (SYNDICAT INTERDÉPARTEMENTAL POUR L'ASSAINISSEMENT DE L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE)

JOUE UN RÔLE CAPITAL DANS LA PROTECTION DE LA SEINE ET LA RECONQUÊTE DE SA BIODIVERSITÉ.

LA NOUVELLE CONSTRUCTION FAIT LARGEMENT APPEL AU BÉTON SOUS DE MULTIPLES FORMES ET ASPECTS.

SUR CE CHANTIER D'EXCEPTION OÙ LES EFFECTIFS ONT DÉPASSÉ 1 000 PERSONNES AU PIC D'ACTIVITÉ,

145 000 M<sup>3</sup> DE BÉTON ONT ÉTÉ COULÉS.



**D**ans l'histoire de l'usine d'épuration Seine Aval, située à Achères dans l'Ouest parisien, la réalisation de l'unité de nitrification/dénitrification prend un relief particulier tant par son implantation à l'entrée de l'usine existante de traitement des eaux, dans un paysage naturel remarquable, que par la spécificité de sa fonction. Tout le travail architectural du projet a été effectué dans la logique d'une requalification perceptible du site et, au-delà, avec le souci de donner, par l'architecture des ouvrages eux-mêmes, une image positive de l'activité d'assainissement ainsi qu'une valorisation de la lutte contre la pollution, grâce à une technologie avancée mise au service de

la préciosité de l'eau, faisant largement appel au béton sous ses formes et aspects multiples. Au niveau fonctionnel, l'unité de nitrification s'organise en un ensemble imbriqué et compact de deux entités distinctes, articulées par une rue intérieure : six groupes de biofiltres nitrifiants formant un volume unitaire au nord, côté Seine ; un bâtiment technique, au sud, abritant les locaux fonctionnels ainsi que les locaux d'exploitation de l'usine, contigus aux flottateurs. Les groupes de biofiltres sont composés de 84 filtres Biostyr®, alimentés par un canal d'amenée, assurant l'abattement des pollutions azotées ainsi qu'une élimination partielle des matières en suspension. Les flottateurs, au nombre de 8, ont pour rôle d'épaissir les déchets des eaux de lavage avant leur envoi vers l'unité de production des boues déshydratées. Les ouvrages de dénitrification partielle, constitués de 11 filtres Biofor® assurant la transformation des nitrates en azote gazeux tout en éliminant les matières

en suspension ainsi qu'un local turbines, permettant une récupération d'énergie, trouvent place à l'est des installations.

### Structures et couvertures : une logique de construction

À la répartition fonctionnelle des entités du projet, répond une trame structurelle s'appuyant sur une logique de construction répétitive. Cette trame reprend, pour l'ossature du bâtiment technique, le rythme des six ensembles de biofiltres selon un ordonnancement régulier de poteaux porteurs en béton. En fonction des impératifs liés aux contraintes de sécurité-incendie, d'isolation phonique et thermique, ou de portance des équipements, la couverture en lamellé-collé et panneaux légers isolants, est doublée par des voiles et une dalle en béton. Des trémies ponctuelles y sont ménagées, pour répondre à la fois aux nécessités fonctionnelles et de qualité de vie des

#### chiffres clés

- Béton : 145 000 m<sup>3</sup>
- Béton autoplaçant : 15 000 m<sup>3</sup>
- Coffrages : 300 000 m<sup>2</sup>



>>> **1** La façade est, telle une coupe, évoque l'organisation générale du projet.

**2** En façade des bassins nitrifiants, perspective sur les panneaux préfabriqués en béton matricé.



3



4

>>> **3** Les panneaux préfabriqués en béton matricé évoquent le traitement et le mouvement de l'eau. **4** Les volumes des déversoirs sont habillés de panneaux préfabriqués en béton poli bleu clair.

espaces intérieurs, favorisant notamment l'entrée de la lumière naturelle. Au droit de chaque galerie technique transversale, la couverture, traitée en béton, est découpée de façon à permettre, avec discrétion, des prises d'air directes, pour les besoins du process et de la ventilation des locaux. La passerelle de la rue intérieure est constituée de prédalles en béton désactivé, reprises par une ossature mixte béton/inox, d'une part sur les poteaux du bâtiment technique et, d'autre part, sur une file de poteaux-voiles longitudinaux. La couverture des flottateurs et des locaux techniques attenants est constituée d'une dalle béton inclinée, supportant une toiture-terrasse végétalisée, d'où émergent des portions de cylindres vitrés en ossature inox et couverture composite démontable, correspondant aux volumes des flottateurs.

### Alliances du béton, de l'acier inoxydable et du verre

Pour la couverture des biofiltres nitrifiants, nécessitée par les besoins du process, le choix architectural a retenu une ossature en acier inoxydable, reprenant la trame constructive, et un principe de toiles tendues opaques et bicolores. Les bassins

dénitrifiants sont intégrés dans un talus planté qui en traite la périphérie, ce qui assure une transition volumétrique de l'unité de nitrification vers l'entrée du site ; leur couverture est assurée par des coques en résine laquée gris métallisé, tandis que les verrières linéaires de la galerie technique réduisent l'impact des façades longitudinales du canal d'amenée. Des corniches préfabriquées en béton constituent le couronnement de l'ensemble. Pour la couverture des locaux techniques et des canaux, dont l'impact lointain reste sensible, le traitement fait appel à des terrasses végétalisées, dans lesquelles des cheminements d'accès constitués de dalles en béton désactivé sont aménagés pour les besoins de l'exploitation de l'usine.

### Des façades identifiées

Chaque façade de l'usine possède son identité spécifique, en relation avec l'espace auquel elle fait face, selon un jeu d'effets sans ostentation, à partir de matériaux contrastés exprimant la réalité des fonctions : bassins de nitrification au nord, bâtiment technique au sud... La façade nord des bassins est scandée par les volumes parallélépipédiques incurvés des déversoirs d'eau traitée ; le soubas-

sement en béton formé par le volume émergeant des bassins est couronné par une coursière de circulation en console. L'effet de masse du béton est contredit par deux interventions particulières : le traitement des volumes des déversoirs en panneaux de béton poli coloré dans la masse ; la mise en place de panneaux préfabriqués en béton matricé, en façade : une expression plastique en bas-relief moulé dans le béton évoque le traitement et le mouvement de l'eau à l'intérieur, le bas-relief répétitif ayant été réalisé par le sculpteur Jean-Paul Philippe. Pour la façade du bâtiment technique au sud, l'architecte a associé un grand soubassement végétal et une longue ligne de verre qui semble émerger du talus engazonné. La façade est, qui forme l'élément perceptible depuis l'entrée visiteurs, évoque, telle une coupe, l'organisation générale du projet. La façade ouest du projet est traitée de façon similaire.

### Un chantier de tous les défis

Entre l'offre initiale et le démarrage effectif des travaux, le groupement de Génie Civil-Vinci Construction France (mandataire), Eiffage TP – a dû adapter ses méthodes et le planning d'exécution du gros œuvre au

délai imparti : 30 mois. Les ouvrages répétitifs, en particulier les 6 batteries de filtres Biostyr®, soit 84 cellules, ont ainsi fait l'objet d'une industrialisation très poussée, qui a permis d'atteindre le volume exceptionnel de 145 000 m<sup>3</sup> de béton, coulés en 18 mois. Calqué sur le process industriel, le gros œuvre s'est partagé en deux volets principaux : la nitrification et la dénitrification, auxquels s'ajoutent les ouvrages de liaison hydraulique. Pour la nitrification, il s'agissait de réaliser un ensemble d'une emprise au sol d'environ 45 000 m<sup>2</sup> avec des bâtiments techniques comprenant des bâches techniques de stockage d'eaux sales en infrastructure, et en superstructure, des locaux fonctionnels (salle de commande, désodorisation, électricité, surpression d'air) d'environ 12 000 m<sup>2</sup>, ainsi que la batterie de huit flottateurs de 16 et 18 m de diamètre, pour une emprise au sol de l'ordre de 6 000 m<sup>2</sup>. Pour la dénitrification, l'ouvrage à réaliser est une batterie de 12 filtres avec son bâtiment technique, d'environ 6 000 m<sup>2</sup>. Enfin, le gros œuvre comporte également la construction de 2 000 m de carneaux de 4,50 m de hauteur, larges de 6 m à 10 m, assurant les liaisons hydrauliques d'amenée depuis l'usine existante, et de rejet vers la Seine.





5



6

»»» 5 Le cheminement sur la passerelle centrale est rythmé par les poteaux en béton brut portant l'avent, les dalles de sol sont en béton désactivé. Des corniches en béton poli bleu habillent le haut des garde-corps. 6 Galerie technique sud du bâtiment technique, au niveau rez-de-chaussée.

## 100 000 m<sup>3</sup> de béton en 10 mois

Le premier "coup de pioche" a été donné en juillet 2004. 18 mois plus tard, en mars 2006, 145 000 m<sup>3</sup> de béton ont été coulés, un volume impressionnant et même exceptionnel si l'on sait que 100 000 m<sup>3</sup> ont été coulés pendant les dix premiers mois du pic d'activité. La clé technique de cet exploit tient pour une large part à l'industrialisation de l'exécution, à laquelle se prêtait tout naturellement la partie Biostyr®, constituée de 6 batteries de 14 cellules contiguës de 16 m de long, 11 m de large et 8 m de haut.

## Association d'éléments préfabriqués en béton et de bétons autoplaçants

Les premiers éléments préfabriqués ont été les voiles des canaux d'eaux non traitées de 9 m de hauteur, équipés de trois inserts. D'un poids de 10 t, ces éléments étaient mis en place à la fin du ferrailage du radier de la galerie d'eau à l'aide d'un gabarit de pose permettant de respecter une tolérance de 2 mm. Les voiles étaient coulés en une fois sur toute la hauteur et la largeur en béton autoplaçant. Ce système a permis notamment d'économiser

le temps de travail et la difficulté qu'aurait représenté le scellement de 508 manchettes. Les poteaux d'angle des cellules ont eux aussi été préfabriqués, en poussant loin la conception puisqu'ils intègrent les armatures en attente, les feuillards d'étanchéité, les rainures des batardeaux et les amorces de voiles. Réalisés avec une grande précision, ces éléments d'environ 10 t sur lesquels venaient s'appliquer les coffrages des voiles ont permis d'utiliser des bétons autoplaçants mis en œuvre au moyen de pompes mobiles et d'un mât de bétonnage. Les portiques des planchers filtrants – 7 par cellule, 588 au total – ont constitué le troisième élément préfabriqué en grand nombre. Une méthode traditionnelle aurait consisté à utiliser poteaux et poutres préfabriquées, ce qui aurait multiplié les opérations de réglage et de clavage à exécuter en hauteur. En réalité, les portiques ont été fabriqués horizontalement sur des tables spéciales munies de compas de relevage hydrauliques : ils constituent des pièces de 7 m de hauteur avec les armatures de pied et 10 m de longueur, d'une épaisseur de 26 cm, ce qui aboutit à un poids unitaire de 7,2 t. Dans les bâtiments techniques, le même principe a été décliné pour les 20 bâches à boue des flottateurs qui sont

des ouvrages de 4,50 m de hauteur d'une capacité de 26 m<sup>3</sup>, composés d'éléments de forme octogonale, que leurs dimensions ont permis de préfabriquer à l'extérieur du chantier.

## Cohérence architecturale à voies multiples

L'une des difficultés du projet, au niveau architectural, résidait dans la nécessité d'obtenir une vraie cohérence entre les dimensions paysagères et techniques que recèle l'usine : la multiplicité de contraintes techniques de tous ordres devait être prise en compte tant en ce qui concerne les impératifs hydrauliques et géotechniques, les spécificités liées au process de traitement et les servitudes d'urbanisme que les contraintes au niveau du Génie Civil et des diverses règles de sécurité, d'exploitation et de maintenance, sans négliger l'optimisation financière de l'ensemble. L'architecte Luc Weizmann a réalisé une recherche synthétique de ces différentes données dans le souci de concilier une logique de quantité et de grande échelle avec une volonté de qualité, d'humanisation et de lisibilité des espaces. ■

TEXTE : MARC MONTAGNON

PHOTOS : HERVÉ ABBADIE

## Le SIAAP

Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne

- 8 500 000 habitants de la région parisienne concernés
- 2,5 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées traitées quotidiennement dans ses cinq sites de dépollution.



**Maître d'ouvrage :**  
SIAAP

**Maître d'œuvre public :**  
DGT SIAAP

**Groupement d'entreprises :**  
OTV France (mandataire)  
Degrémont SAS  
Vinci Construction France  
Eiffage TP

**Architecte :**  
Luc Weizmann

# → L'ambition architecturale des piles de ponts

Une pile de pont pourrait n'être qu'un élément trivial, seulement utile à transmettre les efforts verticaux imposés par le poids du tablier qu'elle supporte. Mais la réalité est tout autre et les piles des ponts modernes s'acquittent d'une mission plus noble où l'architecture, et donc l'architecte, ont plus d'un mot à dire.

Depuis l'époque des ponts romains. Les matériaux ont évolué – le béton en particulier –, tout comme les connaissances et les moyens techniques. L'ère industrielle a nécessité la multiplication des ouvrages, et il n'est plus aujourd'hui de fleuve qui n'ait son pont, de vallée son viaduc.

## Une synergie entre des acteurs

Mais les méthodes de conception changent. Là où l'ingénieur du XIX<sup>e</sup> siècle agissait seul, décidant tout de la forme et de la structure, l'ouvrage d'art actuel occupe un collège d'acteurs. "Jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle,

une culture architecturale a subsisté chez les ingénieurs, mais aujourd'hui ces spécialistes, à l'exception de quelques-uns comme Michel Virlogeux, ne s'intéressent plus qu'au calcul", observe Jean-Louis Jolin (architecte, urbaniste), créateur de nombreux ouvrages d'art. De fait, la mission de l'architecte est désormais inséparable de la mission de l'ingénieur. La commande elle-même a changé. L'État n'est plus le seul maître d'ouvrage. "Les élus se sont emparés de l'ouvrage d'art pour en faire un outil de communication", estime Laurent Barbier (architecte). L'architecte doit faire du sur-mesure pour des communes, des départements, qui aiment

à y voir un prolongement de leur pensée." Un mouvement où l'effet de mode n'est pas absent : on veut une réplique d'un ouvrage connu. Dans tous les cas, les enjeux esthétiques sont très présents. Et les leviers du concepteur, s'ils sont décisifs, ne sont pas si nombreux. La disposition, le dessin et l'aspect des piles en font partie.

## Les contraintes techniques

Mais d'abord, qu'est-ce qu'une pile de pont ? Au sens strict, la pile supporte essentiellement des charges verticales. Si le principe est simple, la réalisation est plus complexe. Se

posent naturellement des questions techniques : résistance au flambement, résistance aux effets du vent ou des séismes, résistance en phase de construction de l'ouvrage (tablier réalisé par encorbellement successif, pont poussé), résistance en phase de service (freinage des trains, chocs éventuels causés par des bateaux), etc. À ce titre, le viaduc de Millau illustre une complexité maximale avec des piles de 300 m de haut et un tablier poussé. Certaines configurations sont également spécifiques, comme les tabliers dédoublés. Dans ce cas, la pile elle-même sera dédoublée ou bien le concepteur retiendra deux piles distinctes.

## L'intégration dans le site

Une fois réglées les questions techniques liées au dimensionnement, celle de l'intégration de l'ouvrage dans son site, et donc du dessin des piles, se pose.

"Les appuis sont primordiaux, estime Alain Spielmann (architecte). C'est là que se concentrent tous les efforts. C'est un élément de stabilité, où se croisent les notions de structure et d'aspect. Il faut donc y prêter beau-



1



2



3

1 Architecte : Alain Spielmann.  
2, 5 et 6 Architecte : Frédéric Zirk.



*coup d'attention.* " Dans tous les cas, les piles des ponts ne sont pas que du dessin : elles sont aussi de la pensée. " *Les ponts sont des ouvrages particuliers, relève Alain Spielmann. Il faut que les structures se plient au paysage. Pour ma part, je ne cherche pas à imposer une esthétique propre ; mes ouvrages ont en commun une certaine discrétion.* " Car un pont est un ouvrage public, conçu pour tous et visible par tous. Tout le monde doit pouvoir s'y reconnaître et en même temps s'en émuvoir. Ce qui nécessite une certaine discipline de la part de l'architecte. " *On se doit de respecter les lois de la nature et de la gravité pour tenter de fondre l'ouvrage dans son contexte* ", insiste Alain Spielmann.

*"Les piles sont vues depuis différents endroits et par différents observateurs (riverains, usagers de la route), et donc sous des angles divers, enchaîne Jean-Louis Jolin. C'est ainsi l'occasion de dessiner des formes animées, vivantes, dont la perception se renouvellera au fur et à mesure que l'on se déplacera.* " *Dans la plupart des cas, on a le plus souvent affaire à des configurations traditionnelles sur le plan dimen-*

*sionnel, enchaîne Frédéric Zirk (architecte). Quant aux ponts routiers, l'enjeu sera d'avoir un même effet sur une succession d'ouvrages.* " Tout en gardant à l'esprit que la pile est peu perçue par l'automobiliste, qui l'apprécie en proportion de ce que lui permet la vitesse. " *Les piles d'ouvrages courants ne présenteront dans l'ensemble qu'une faible variation et l'on peut résumer l'ensemble à une quarantaine de modèles au total* ", estime encore Frédéric Zirk, pour qui le problème ne se pose que lorsque l'on aborde les grands ouvrages, dont les piles présentent des dimensions exceptionnelles : " *Dans certains cas, leur forme est définie dès le début du concours. Pour ma part, j'aime qu'elle soit l'aboutissement d'un raisonnement. J'en veux pour preuve le viaduc de Saint-Paul, à La Réunion (cf. Construction moderne, numéros spéciaux ouvrages d'art 2006 et 2007), où nous nous sommes inspirés des techniques de construction traditionnelles de l'île.* "

### Le respect de l'environnement

Pour Laurent Barbier, la pile n'est qu'une facette d'un ensemble plus large, un point de rencontre entre

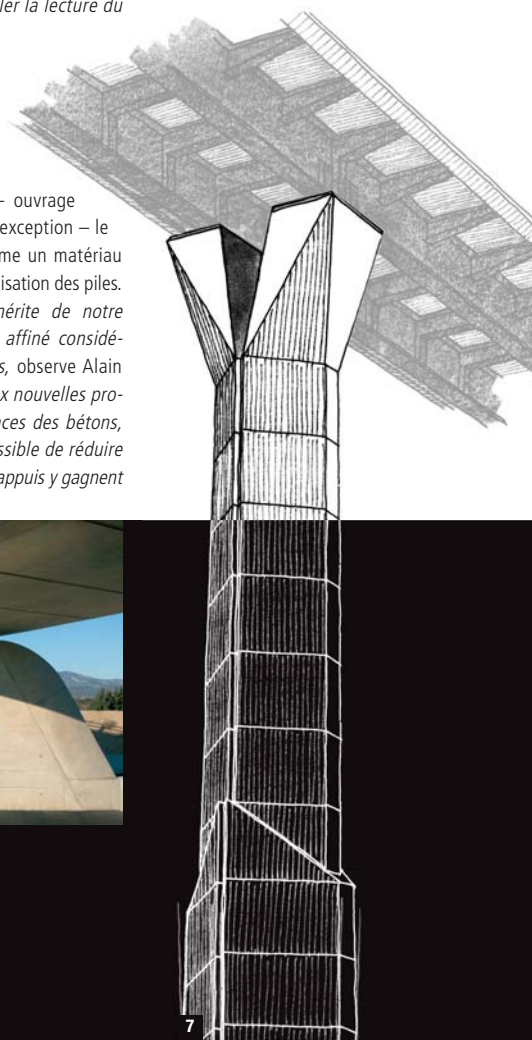
la verticale et l'horizontale. " *Pour un pont, la pile est l'élément qui "fait la fenêtre", précise-t-il. C'est l'élément de la proportion.* " La pile est un élément intermédiaire du bâti, qui fait le lien entre l'ouvrage d'art et l'habitat, où elle est parfois présente. " *Pour moi l'important est l'infrastructure, dont l'ouvrage n'est que l'élément visible, insiste Laurent Barbier. Sur la voie d'accès au futur aéroport Notre-Dame-des-Landes, près de Nantes, je voulais imprimer une culture unique, respectueuse de l'environnement, qui contribue à renouveler la lecture du paysage.* "

### Le béton, outil de l'ingénieur et de l'architecte

Dans tous les cas – ouvrage courant ou viaduc d'exception – le béton s'impose comme un matériau d'élection pour la réalisation des piles. " *C'est un grand mérite de notre époque que d'avoir affiné considérablement les appuis, observe Alain Spielmann. Grâce aux nouvelles propriétés et performances des bétons, il est maintenant possible de réduire les épaisseurs, et les appuis y gagnent*

*en élégance et en finesse. Le béton se fait ainsi l'outil de l'architecte et de l'ingénieur, qui se doivent de définir un prototype original, particulier, élégant, subtil.* " Un outil tout en souplesse, qui sait répondre aux contraintes budgétaires et aux exigences des projets les plus fous par la performance d'un matériau en évolution constante, sans lequel les défis récents seraient restés des utopies. ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS



4



6



5

>>> 3 et 4 Architecte : Laurent Barbier.  
7 Architecte : Jean-Louis Jolin.

livres



→ La durabilité des bétons  
Bases scientifiques pour  
la formulation des bétons  
durables dans  
leur environnement

Jean-Pierre Ollivier  
et Angélique Vichot

Cette édition actualisée fait le point complet sur la formulation des bétons en vue d'une bonne durabilité. Elle synthétise les conditions de conservation de leurs qualités en termes d'intégrité et de caractéristiques d'emploi face aux agressions et facteurs de dégradation. Les auteurs enrichissent ce bilan en étudiant la durabilité des bétons face aux incendies ou aux réactions de gonflement interne, l'approche performant de la durabilité ainsi que la prise en compte de cette notion dans le contexte normatif européen.

Éditions Presses de l'École nationale des ponts et chaussées (livre + CD-Rom), 868 pages, 150 euros



→ Les certifications  
délivrées par l'AFCAB

Par la mise en place de certifications, l'Association Française de Certification des Armatures du Béton vise à maîtriser la qualité de toutes les étapes de la fabrication de l'acier jusqu'à la pose des armatures dans le coffrage. Il s'agit des certifications suivantes :

- Marque NF – Aciers pour béton armé
- Marque NF – Armatures
- Marque AFCAB – Pose d'armatures du béton
- Marque AFCAB – Dispositifs de rabotage ou d'ancrage des armatures du béton.

Recueil de 12 pages, gratuit  
www.afcab.org



→ Recommandations  
pour l'emploi des Bétons  
Autoplaçants

Association Française  
de Génie Civil / PN B@P

Les recommandations recensées dans cet ouvrage ont pour but de préciser le cadre d'utilisation des Bétons Autoplaçants. Elles sont fondées sur les données bibliographiques françaises et internationales les plus récentes et sur les travaux réalisés par le Projet National B@P.

Éditions Association Française de Génie Civil / PN B@P, 2008, 128 pages, 30 euros Français et anglais



→ Le pari de l'impossible :  
la Route des Tamarins

Delphine Désveaux

Située à La Réunion, la Route des Tamarins est l'un des plus grands chantiers routiers actuels. Avec ses 120 ouvrages d'art répartis sur 33,7 km, dont quatre exceptionnels qui ont nécessité une ingénierie de pointe, elle se caractérise par son ampleur titanique et un contexte à la fois original et contraignant. En accord avec la volonté affirmée de la Région, les concepteurs et les réalisateurs ont défini un projet tenant compte de l'ensemble des enjeux sociaux, environnementaux et économiques locaux. À chaque situation rencontrée, une réponse architecturale, paysagère et technique a été apportée. En retour, la route, conçue comme un balcon entre ciel et mer, donne toute sa mesure au paysage.

Presse des Ponts et Chaussées, 190 pages, 40 euros, à paraître (novembre 2008)

publications techniques Cimbéton



Les bétons et les ouvrages  
en site maritime

Ce guide précise les particularités des bétons utilisés pour la réalisation d'ouvrages ou de structures situés en site maritime : spécificités de ce type d'aménagements, détermination des classes d'exposition, risques de corrosion des armatures, caractéristiques des ciments utilisés, spécifications des bétons coulés en place, optimisation de l'enrobage, et éléments pour la mise au point du CCTP.. ■

Référence T 93, 20 pages, gratuit.

actualités

→ Nomination à la fib  
(fédération internationale du béton)

Anna Bösché vient de rejoindre la fédération internationale du béton en tant que secrétaire générale de l'association. Ingénieur, docteur de l'Université technique de Dresde et diplômée de l'Université de Californie à Los Angeles, elle a précédemment occupé un poste de chercheur à l'institut de la construction en béton à l'Université de Dresde.



## sites Internet



### → Chantier des hommes à l'ouvrage

Luc Weizmann  
et Jérôme Equer

Le propos de ce livre est de rendre hommage aux hommes de chantier à l'œuvre. Rassemblant des métiers d'une extraordinaire diversité, conjuguant savoir-faire et talents, l'édification d'un vaste bâtiment ou d'un ouvrage d'art est toujours une aventure humaine qui encore aujourd'hui a peu d'équivalent. Prenant en exemple la construction de l'unité de traitement des pollutions azotées des eaux de l'usine seine aval du SIAAP, Luc Weizmann, l'architecte du projet et le photographe Jérôme Equer se sont associés pour témoigner du déroulement d'un grand chantier et du travail de tous ceux qui y ont participé.

Éditions Jean-Michel Place,  
288 pages, 43 euros



### → BA-CORTEX

Ce site, dédié à l'étude du Béton Armé et du Béton Précontraint, met à la disposition des étudiants et enseignants des formations spécialisées et des professionnels, des modules permettant de se familiariser avec l'utilisation de l'Eurocode Béton. Répartis selon trois niveaux de formation (débutant, intermédiaire, confirmé), la formation se décline en trois catégories de modules :

- **les modules d'apprentissage** : construits comme des cours illustrés, ils abordent les méthodes de calcul, les règles constructives...
- **les modules d'applications** : ils illustrent différentes méthodes de dimensionnement du Béton Armé et du Béton Précontraint.
- **les modules de projet** : ils permettent d'analyser les conditions de dimensionnement de parties d'ouvrages.

[www.ba-cortex.com](http://www.ba-cortex.com)



### → AFGC : un nouveau site

Le nouveau site de l'Association Française de Génie Civil relaye activement deux de ses principaux objectifs : informer les jeunes sur le secteur des Travaux Publics et rapprocher le monde des matériaux de celui des structures, le monde de l'enseignement et de la recherche de celui de la conception et de l'application. À suivre en particulier sur le site, le programme des visites techniques et conférences organisées par les six délégations régionales, ainsi que les journées techniques GC' 2009 et le point actualisé sur les études menées par les différents groupes de travail. Désormais également, un accès direct pour les adhérents à l'espace dédié.

[www.afgc.asso.fr](http://www.afgc.asso.fr)



### → Planète-TP.com : un site hors du commun

Portail d'ASCO-TP, (Association pour la Connaissance des Travaux Publics), ce site a pour ambition de développer l'intérêt du grand public pour les Travaux Publics et en particulier auprès des jeunes. Il offre une information sans cesse renouvelée sur des réalisations, des métiers, des techniques et sur l'histoire des Travaux Publics. Le site répond en fait à une double mission. Celle de "musée virtuel" tout d'abord, pour les réalisations et la mise en valeur d'un patrimoine et d'un savoir-faire, et pour laquelle il reçoit l'appui du MEEDDAT et de la FNTP. Celle aussi de soutenir la formation des jeunes et de mettre en avant l'attractivité des métiers.

[www.planete-tp.com](http://www.planete-tp.com)

## agenda

### → Londres International fib Symposium 2009 Du 22 au 24 juin 2009 – Business Design Center "Concrete : 21st Century Superhero"

Le prochain Symposium organisé par la fib (fédération internationale du béton) réunira à Londres ingénieurs, chercheurs et designers pour débattre des dernières innovations concernant le matériau béton au regard du développement durable. Analyse des cycles de vie, impacts des composants des bétons sur l'environnement, sécurité et durabilité des constructions, toutes ces questions seront abordées selon les aspects environnemental, social et économique.

Renseignements : [www.fiblondon09.com](http://www.fiblondon09.com)

### → Cachan Journées techniques GC' 2009 Les 18 et 19 mars 2009 - ESTP "Cycle de vie des ouvrages : une approche globale"

Le développement durable implique la prise en compte du concept de "cycle de vie" (conception, construction, exploitation, gestion, adaptation, déconstruction et recyclage). Architectes, ingénieurs, maîtres d'œuvre et d'ouvrage sont invités à dresser un état des connaissances sur le thème "Cycle de vie des ouvrages : une approche globale", à l'occasion des journées techniques GC' 2009 organisées par l'AFGC, les 18 et 19 mars 2009.

Informations : [afgc@enpc.fr](mailto:afgc@enpc.fr)



Panneaux préfabriqués en béton matricé sur le site du SIAAP, société d'architecture Luc Weizmann.