

CONSTRUCTION

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2007

MODERNE



Éditorial

Jusqu'à un passé récent, le maître mot en construction des structures était "résistance". Depuis quelques années, le terme "durabilité" est venu s'ajouter aux objectifs de conception des ouvrages, engendrant ainsi une évolution dans les choix de matériaux, les types de structure, les détails constructifs et les méthodes de maintenance. Même si nos prédécesseurs ont cherché à fabriquer des bétons compacts – ce qui nous vaut de conserver un patrimoine en béton dans un état de qualité supérieur à celui de nombre d'autres pays –, le souci de la durabilité a substantiellement modifié l'offre des bétons modernes en génie civil, et l'approche performantielle actuellement en cours de développement va certainement amplifier ce changement. L'évolution de la société vers un développement durable, qui inclut notamment une économie en ressources non renouvelables, une limitation des rejets de gaz à effet de serre, une prise en compte de l'analyse du cycle de vie des ouvrages et de la qualité esthétique des parements, induira encore des changements, voire des bouleversements dans l'élaboration des bétons et la construction des ouvrages. À nous de préparer cette évolution pour assurer aux futures générations un monde meilleur.

BRUNO GODART

Directeur Technique Ouvrages d'Art au Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Anne Bernard-Gély • **DIRECTEUR DE LA RÉDACTION** : François L'Huillier • **CONSEILLER TECHNIQUE** : Patrick Guiraud • **CONCEPTION, RÉDACTION ET RÉALISATION** : L'ÉGENCE – 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, tél. : 01 53 00 74 13 • La revue *Construction moderne* est consultable sur www.infociments.fr • Pour les abonnements, envoyer un fax au 01 55 23 01 10 ou un e-mail à centrinfo@cimbeton.net •



>> Couverture

Le pont haubané de Warluis (60) près de Beauvais.

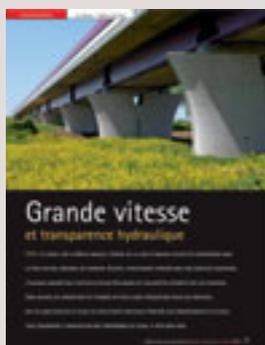
Photo: Régis Bouchu/Actophoto



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

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

Sommaire • Numéro annuel ouvrages d'art • édition 2007



>> PAGE 01 > Meuse – Viaduc LGV Est



>> PAGE 05 > Gironde – Laser Mégajoule



>> PAGE 08 > A13 – Écran acoustique



>> PAGE 11 > Warluis – Pont sur l'autoroute A16



>> PAGE 15 > L'offre BPE en génie civil



>> PAGE 23 > La Réunion – Viaduc de Saint-Paul



>> PAGE 28 > Angers – Contournement



>> PAGE 32 > Architectes et écrans acoustiques



>> PAGE 35 > Égletons – Chantier-école



Grande vitesse et transparence hydraulique

>>> LE VIADUC SUR LA MEUSE MARQUE L'ENTRÉE DE LA LIGNE À GRANDE VITESSE EST-EUROPÉENNE DANS LE PARC NATUREL RÉGIONAL DE LORRAINE. DISCRET, PARFAITEMENT INTÉGRÉ DANS SON CONTEXTE VERDOYANT, L'OUVRAGE IMAGINÉ PAR L'ARCHITECTE ALAIN SPIELMANN EST AUJOURD'HUI APPRÉCIÉ PAR LES RIVERAINS. POUR AUTANT, SA CONCEPTION FUT D'ABORD UN VASTE SUJET D'INQUIÉTUDE POUR LES HABITANTS DES VILLAGES PROCHES ET POUR LES EXPLOITANTS AGRICOLES. HABITUÉS AUX DÉBORDEMENTS DU FLEUVE, TOUS CRAIGNAIENT L'AGGRAVATION DES PHÉNOMÈNES DE CRUES. IL N'EN SERA RIEN.



1



2

Le viaduc sur la Meuse – l'un des grands ouvrages du tracé de la ligne à grande vitesse Est-européenne – se situe dans le Parc naturel régional de Lorraine et traverse une vallée classée en zone de protection spéciale (ZPS) du réseau européen Natura 2000. Pour l'ar-

chitecte Alain Spielmann, cet ouvrage, long de 600 m, reposant sur 11 piles, marque "l'entrée de la Lorraine". Tout comme, un peu plus loin, celui de la Moselle – qu'il a créé dans un même esprit pour "garder une unité" – en suggère la sortie.

chiffres clés

- Long de **1 781 m**, situé sur les communes de Bannoncourt et de Lacroix-sur-Meuse, **le lot 37 de la LGV Est** correspond aux ouvrages de franchissement de la vallée de la Meuse. Il comporte deux ouvrages mixtes, le principal enjambant la Meuse (600 m de longueur, 12,50 m de largeur, 12 travées de 52,50 m de portée) et le canal de l'Est (300 m, 11 travées), séparés par un remblai central (300 m), des voies routières et ferroviaires, ainsi qu'un ouvrage passant sur un bras de la Meuse par la RD109.
- Béton : **19 000 m³**
- Armatures passives : **2 900 t**
- Charpente : **3 000 t**
- Déblais : **110 000 m³**
- Remblais : **30 000 m³**

Une contrainte économique

Sur cette section dont la maîtrise d'œuvre génie civil a été confiée par RFF à la société Scetauroute (groupe EGIS), Alain Spielmann commence à reconnaître les sites dans les années 1999-2000 et trace dès lors les premières esquisses. "Contrairement à la ligne nouvelle Méditerranée, les financements étaient ici régionaux. Il fallait concevoir un viaduc relativement économique, donc serrer les

>>> **1** La forme tulipée des piles a été obtenue grâce à un outil de coffrage spécifique. **2** Le ciment utilisé pour les fondations et les appuis est du type CEM III/B 32,5 N CE PM ES NF. **3** Le tablier est un bipoutre mixte avec contreventement inférieur par dalles préfabriquées en béton armé de 15 cm d'épaisseur, pour une portée courante de 52,50 m et une épaisseur de la dalle supérieure de 40 cm. **4** Les ouvrages du lot 37 de la LGV Est enjambent la Meuse et le canal de l'Est.

prix. C'était une des contraintes", reconnaît-il. Une autre était liée aux fréquentes crues de la Meuse. Pour prendre en compte ces problèmes hydrauliques, il y avait un équilibre à trouver entre les ouvertures du viaduc, de son ouvrage de décharge, et les relations avec le monde agricole de ce secteur, les élus, les habitants, notamment ceux des communes proches de Bannoncourt et de Lacroix-sur-Meuse. Tous exprimaient leur crainte de voir les phénomènes de crues s'amplifier à cause de cette barrière artificielle. Alors, bien avant que les engins de chan-

tier n'investissent les lieux, les données hydrauliques des études sont contestées. En particulier les 570 m³/seconde de référence de la crue centennale qui avaient servi à l'origine pour dimensionner l'ouvrage. "Dès l'avant-projet nous avons exprimé le souhait que le franchissement de la vallée se fasse par un viaduc intégral", rappelait Régis Mesot, maire de Lacroix-sur-Meuse (630 habitants), le jour de l'inauguration du viaduc. Et d'ajouter : "Ce n'était pas une lutte contre un projet structurant comme le TGV, mais pour défendre les intérêts locaux, en par-



>>> Contrairement à d'autres infrastructures qui "créent" intentionnellement du contexte, le viaduc sur la Meuse accompagne le paysage et s'insère avec douceur dans le site lorrain.



3



4

ticulier la protection du milieu agricole et des populations." En 2001, avant de lancer l'enquête publique, le préfet de la Meuse confie une contre-expertise au Cemagref (centre de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement). Les résultats de ces nouvelles études hydrauliques prennent alors en compte un débit de 730 m³/seconde, supérieur de 28 % à la crue de 1947. En conséquence, RFF allonge le viaduc par une travée supplémentaire, soit 52,50 m, et double de 28 à 56 m l'ouverture de l'ouvrage franchissant un chemin départemental, ce qui limite la longueur du remblai entre les deux viaducs à 300 m. Le maître d'ouvrage s'engage aussi à suivre, sur une période de dix ans après la mise en service de la ligne, l'impact des phénomènes de crues pour en mesurer les éventuelles incidences sur les zones habitées et agricoles.

Accompagner le paysage

Au début, Alain Spielmann et son équipe travaillent beaucoup pour imaginer des ouvrages et des lignes de remblai et de déblai qui conviennent aux secteurs traversés, pour les révéler au public. Leur objectif : faire découvrir des sites avec

des ponts paysagés. "Il y a deux manières complètement différentes d'observer. Celle des voyageurs du TGV qui découvrent à 320 km/h un paysage qu'ils ne connaissent pas, et celle des piétons passant à proximité de l'ouvrage. C'est pourquoi l'on tente de faire des réalisations compréhensibles par tout le monde. Si parfois, comme avec les estacades TGV de Claye-Souilly, en Seine-et-Marne, on a créé un paysage, sur la Meuse, au contraire, l'ouvrage accompagne le site. Il faut que le pont fasse partie intégrante de la vie des habitants, mais qu'il exprime cependant la technique moderne." Alors, pour façonner l'ouvrage en harmonie avec la douceur du site lorrain, pour lui donner de la grâce, pour émouvoir, l'architecte joue sur les courbes et donne aux travées des hauteurs variables qui révèlent toute leur expression, surtout vues du bas du viaduc. "Les piles étant courtes, cela donne une inflexion, un moutonnement que les gens apprécient." Ce principe de courbure se retrouve aussi au niveau des piles "tulipes" qui émergent du sol avec un seul fût et se déploient pour supporter les deux poutres du tablier mixte acier-béton. Les poutres métalliques ont été peintes en un rouge "prunus". Et cette

2 questions à Didier Thomas, RFF, EXPERT TECHNIQUE SUR LA LGV EST

Le passage de la ligne nouvelle dans la vallée de la Meuse a-t-il été délicat ?

Oui. Il fallait prendre en compte plusieurs critères : l'insertion paysagère, le bruit, l'eau. Avec des aménagements spécifiques, on arrive à gérer assez facilement les deux premiers. Le plus difficile est d'assurer la transparence hydraulique de l'ouvrage dans les champs d'inondation. À la fin des années 90, le projet en était aux phases d'avant-projet sommaire (APS) et d'enquête d'utilité publique. Les habitants des villages de La Croix-sur-Meuse et de Bannancourt, les élus et les agriculteurs, qui avaient déjà vécu de nombreuses crues, s'inquiétaient. L'impact en aval de ces crues était important et remontait même jusque dans les Ardennes ! Les services de l'État ont donc particulièrement suivi ce secteur meusien.

Quelle a été la plus grande difficulté pour RFF sur ce site ?

Etre convaincant sur les mesures pour lutter contre les inondations. Toutes les études visaient à ajuster le dimensionnement de l'ouvrage pour avoir le moindre impact sur l'écoulement de l'eau. Entre le viaduc principal, son ouvrage de décharge sur la Prêle et le viaduc sur le canal de l'Est, un remblai était initialement prévu dans le champ d'inondation. Mais les habitants et les exploitants agricoles voulaient un franchissement en viaduc sur la totalité de la traversée. Ce n'était pas justifié techniquement et occasionnait des surcoûts. Une contre-expertise a été effectuée par le Cemagref. Le préfet a ensuite décidé que le viaduc principal de la Meuse serait allongé par application du principe de précaution. Ainsi, la longueur du viaduc sur la Meuse a été portée de 500 à 600 m, complété par un ouvrage unique de 300 m franchissant le ruisseau de la Prêle et le canal de l'Est. Aujourd'hui encore, des négociations sont en cours pour déterminer où peuvent être creusés des bassins permettant de compenser l'impact des 20 000 m³ de remblai qui subsistent dans le champ d'inondation. ■



5

>>> **5** Une étude du Cemagref a permis d'ajuster le dimensionnement de l'ouvrage avec précision, et ainsi de réduire au minimum son impact sur l'écoulement des eaux en cas de crue. Une fois levée cette inquiétude exprimée par les riverains et les agriculteurs, l'ouvrage a pu faire valoir ses qualités esthétiques et son insertion exemplaire dans le paysage.

même couleur a été appliquée sur les écrans garde ballast séparés du tablier par une corniche constituée d'éléments préfabriqués en béton, réalisé avec des granulats ocre de pierre d'Euville ou de pierre de Jeumont, pour créer deux lignes rouges et donner un aspect filant et élégant au pont.

Une technique adaptée aux TGV

Sur le plan technique, le viaduc est de facture classique, sensiblement identique au concept d'un ouvrage routier ou autoroutier, que Demathieu & Bard a l'habitude de réaliser. L'entreprise n'a pas rencontré de difficulté particulière au cours de la construction qui a mobilisé entre 40 et 50 personnes, avec en pointe, au cours de l'été 2003, trois équipes de 20 à 25 personnes. Les principales contraintes tenaient à la vocation ferroviaire du viaduc. Les calculs de définition de l'ouvrage ont notamment pris en compte l'éventualité de deux TGV circulant en sens opposés, lancés à 320 km/h, qui freineraient d'urgence à cet endroit précis ! Avec à la clé d'énormes

efforts qui ont été compensés par une quantité importante d'armatures dans la dalle en béton armé du tablier : de 20 à 30 % d'acier en plus !

Les piles ont été réalisées à l'abri de batardeaux, un appui seulement – la culée côté est – étant fondé sur pieux, avec des bouchons de béton immergés qui, pour les plus importants, ont atteint jusqu'à 1 000 m³. "Pour obtenir la forme en 'tulipe' des piles – des ovoïdes de 9x4m remplis de béton –, nous avons fabriqué un outil de coffrage spécifique, explique Jean-Paul Batsch, directeur de travaux chez Demathieu & Bard. La tête sur le chevêtre était toujours identique, mais on a conçu le pied avec un jeu de sous-hausses permettant d'adapter les hauteurs de levées à réaliser." Les deux viaducs de la Meuse et de la Moselle, de même que l'ensemble des ouvrages de ce type sur la LGV, ont été construits selon le même principe. Les poutres sont contreventées par une dalle en béton continue, clavée sur les semelles inférieures. Les voies reposent sur un hourdis en béton coulé en place sur les poutres. Le département Travaux spéciaux de

Demathieu & Bard a par ailleurs développé une technique innovante : un chariot automoteur qui permettait de rouler sur la charpente lancée, de façon à poser la structure de contreventement en béton en phase définitive, et les pré-dalles entre les deux poutres de charpente. Outre une volonté de la direction de l'entreprise d'innover en matière de méthodes, ce procédé présentait plusieurs avantages. "Pour réaliser le tablier, nous étions indépendants par rapport au lit de la rivière et n'étions donc pas soumis à ses crues, poursuit Jean-Paul Batsch. Les livraisons se faisant par les extrémités des ouvrages et non par les champs, l'environnement de la vallée de la Meuse était également respecté."

Apprécié par tous

Tout cela relève désormais du passé. La ligne Est européenne, en service depuis le 10 juin 2007, voit passer des TGV à 320 km/h chaque jour. Hommes et engins sont repartis vers d'autres chantiers. Aujourd'hui, alors que la nature a déjà repris ses droits, le viaduc de la Meuse donne toute satisfaction aux habitants, aux exploitants... et donc à Alain Spielmann : "Au-delà même de tout ce que je

pouvais imaginer. Des maires m'en parlent. Ils sont sensibles à l'aspect de l'ouvrage, à son élégance. Certains m'ont même demandé de venir construire des ponts dans leurs villages !"

TEXTE : MICHEL BARBERON

PHOTOS : LAURENT ROTHMANN/CAPA/RFF –
DEMATHIEU & BARD



Maître d'ouvrage :
RFF

Maître d'œuvre :
Scetauroute

Architecte :
Alain Spielmann

Entreprises :
Groupement Demathieu & Bard (mandataire), Bec Frères, Muller TP, Baudin Châteauneuf, Berthold

Bureaux d'études :
Arcadis EEG Simecsol, Secoa, Baudin Châteauneuf (ouvrages d'art), Muller TP (terrassements)



Satisfaire aux exigences de l'infiniment petit

>>> LE CHANTIER DE CONSTRUCTION DU LASER MÉGAJOLE SE DÉROULE AU BARP, EN GIRONDE, DEPUIS 2003.

LES CONDITIONS D'EXPLOITATION DE CET OUTIL VOUÉ À LA RECHERCHE NUCLÉAIRE ONT IMPOSÉ DES SPÉCIFICITÉS

INHABITUELLES POUR LES TRAVAUX DE GROS ŒUVRE. LA STRUCTURE A NÉCESSITÉ DES FONDATIONS

EXCEPTIONNELLES POUR GARANTIR L'INDISPENSABLE STABILITÉ DES CHÂÎNES LASER ET DONC DU BÂTIMENT

DANS SON ENSEMBLE, ÉGALEMENT CONÇU POUR FAIRE ÉCRAN AUX AGRESSIONS EXTÉRIEURES – VARIATIONS

DE TEMPÉRATURE, VENT, ÉVOLUTIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE PHRÉATIQUE, ETC.



Depuis l'arrêt des essais nucléaires en 1996, c'est sur le programme Simulation que repose le maintien de la compétence scientifique de la France en matière de conception d'armes de dissuasion. Afin de valider les modèles numériques utilisés dans le cadre de ce projet, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) a choisi de construire plusieurs outils expérimentaux, parmi lesquels le Laser Mégajoule. Sa vocation : reproduire en laboratoire la dernière étape du cycle d'une explosion thermonucléaire, qui consiste dans la fusion entre deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium. Le processus vise à découpler, via un long parcours d'amplification, l'énergie

produite par des faisceaux laser, puis à la focaliser dans une chambre d'expérience afin de frapper une microsphère de 2 mm de diamètre contenant le mélange d'atomes. Exposés à une pression de plusieurs centaines de mégabars et à une température de plusieurs centaines de millions de degrés, ceux-ci fusionneront en une fraction de seconde.

La définition de l'enveloppe du bâtiment a été largement influencée par l'analyse des contraintes liées à la capacité des éléments optiques à absorber l'énergie sans perdre leurs propriétés ou se détruire. Pas moins de 240 faisceaux laser seront regroupés dans 30 chaînes d'amplification longues de 125 m chacune et réparties dans deux halls symétriques par rapport à la chambre d'expérience. Pour cette dernière, la nécessité d'infléchir les faisceaux afin de les diriger de manière rayonnante sur la cible a imposé une forme cylindrique, avec un diamètre central de 33 m.

Des fondations désolidarisées

Autre défi posé aux concepteurs du Laser Mégajoule : assurer la stabilité de la structure à deux microns près pendant les trois heures précédant chaque tir de

>>> **1** La cible des faisceaux est située au centre d'un cylindre de 33 m de diamètre. **2** La construction du cylindre et du mur d'enceinte de la chambre d'expériences a fait appel à un béton enrichi en bore, minéral permettant de capter les neutrons. **3** Plus de 1 000 m³ de béton de classe de résistance C30/37 à base de ciment CEM II/A LL 52,5 CE PM CP2 NF étaient coulés en moyenne chaque semaine. **4** et **5** Un système de pilotage a permis d'organiser le fonctionnement des 11 grues. **6** La moitié des coffrages nécessaires aux quelque 10 000 réservations a été réalisée sur place. **7** Le démarrage des essais est prévu pour 2012.

simulation, en vue d'optimiser l'alignement des chaînes laser sur la cible. Les locaux techniques ont été construits autour des zones d'expérience, sur des fondations indépendantes, pour absorber les effets du vent. "Le choix de désolidariser les fondations exigeait une forte rigidité des tables sur lesquelles reposent les chaînes laser, précise Laurent Schmieler, responsable de la direction du chantier pour le compte du CEA. Une solution a été trouvée en superposant deux dalles de béton armé de 50 cm d'épaisseur reliées entre elles par un assemblage de poteaux et de poutres." La présence d'une nappe phréatique constituant un deuxième facteur d'instabilité potentielle, celle-ci a été rabattue à 6 m sous terre ; 50 cm de béton drainant ont été coulés sous le bâtiment afin de collecter l'eau qui remonte en permanence – entre 50 et 150 m³/h selon les saisons – et ainsi de maintenir la nappe à un niveau constant. La stabilité des supports métalliques des

chaînes laser et l'exigence d'efficacité des optiques supposent une température fixe à l'intérieur du bâtiment. Celle-ci a été fixée à 21°C, à un demi-degré près. Pour pouvoir renouveler le volume d'air 14 fois par heure, soit 5 millions de mètres cubes, il a fallu consacrer près d'un tiers de la surface du bâtiment aux équipements de climatisation et de traitement de l'air.

Réglementations spécifiques

En tant qu'installation nucléaire, le Laser Mégajoule est soumis à des réglementations spécifiques en matière de résistance aux séismes et de protection contre les émissions. Pour faire face à ces exigences, les opérations de génie civil ont toutes été modélisées en 3D. Dans certaines zones, le niveau de ferrailage atteint 350 kg/m³. "La construction du cylindre et du mur d'enceinte de la chambre d'expérience a justifié le recours à un béton enrichi en bore, un

chiffes clés

- Longueur : **300 m**
- Largeur : **100 m**
- Hauteur de la partie centrale : **55 m**
- Béton de structure : **14 000 m³**
- Ciment : **55 000 t**
- Béton drainant : **15 000 m³**
- Armatures : **18 000 t**
- Surface coffrée : **31 500 m²**
- Parois moulées : **8 800 m³**
- Murs : **400 000 m²**
- Planchers : **120 000 m²**



minerai propre à capter les neutrons libérés lors des expériences”, ajoute Jean-Wilfried Ferrier, directeur de projet du groupement d’entreprises.

Du fait d’une surface au sol relativement réduite, l’organisation du chantier a fait l’objet d’une attention particulière. “Pour coordonner les mouvements des onze grues, a été mis en place un système de pilotage intégrant en permanence les hauteurs des crochets et les positions des chariots sur les flèches”, indique Laurent Schmieder. Les coffrages en bois et en métal réclamés par les 10 000 réservations ont été fabriqués pour moitié par un atelier de menuiserie et de chaudronnerie installé sur place. Une centrale à béton réunissant deux malaxeurs a aussi été exploitée sur le site même. “Le béton a ainsi pu être acheminé à 70 % par pompage, grâce à trois mâts de bétonnage dont un situé au centre de la chambre d’expérience”, souligne Jean-Wilfried Ferrier. Le gros œuvre achevé, le second œuvre bien avancé, la place est désormais libre pour l’installation du dispositif de climatisation. Les zones d’expérience devraient être prêtes pour 2012, date prévue pour le démarrage des essais. ■

TEXTE: MATHIEU PEROTIN

PHOTOS: PHILIPPE LABÈGUE



Maître d’ouvrage :

CEA (direction des Applications militaires)

Maître d’œuvre :

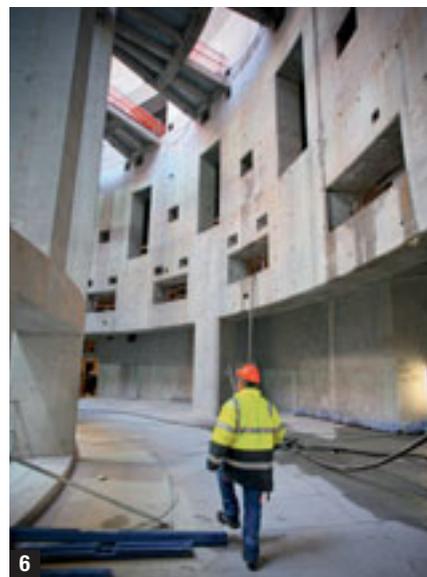
CEA (direction des Applications militaires), assisté des sociétés OTH (pilotage, synthèse, suivi des études et des travaux de génie civil), Assystem (suivi des études et travaux de climatisation, fluides et courants électriques), Apave (sécurité), Socotec (contrôle de la structure) et Areva TA (synthèse et montage du process)

Entreprises :

groupement Bouygues TP, DV Construction/Quille, groupement Oméga/Tunzini, Cegelec CSO

Coût :

2,8 milliards d’euros sur 15 ans





Une autoroute passée sous silence

>>> FAMILIÈRE AUX AUTOMOBILISTES DE LA BANLIEUE OUEST DE PARIS, L'AUTOROUTE A13 FAIT L'ACTUALITÉ

AVEC LE CHANTIER DE RACCORDEMENT AU TUNNEL DE L'A86. CES TRAVAUX SONT AUSSI L'OCCASION

DE PROTÉGER LES RIVERAINS DU BRUIT DE L'AUTOROUTE AVEC DES ÉCRANS ACOUSTIQUES INTÉGRÉS AU PAYSAGE.

MICHEL REGEMBAL, ARCHITECTE DE CES ÉCRANS, A FAIT LE CHOIX DU BÉTON DE BOIS AUTANT POUR SES

QUALITÉS ACOUSTIQUES QUE POUR SA LARGE VARIÉTÉ DE TEINTES ET DE TEXTURES. PROGRESSIVEMENT RECOUVERTS

DE VÉGÉTATION CÔTÉ RIVERAINS, LES ÉCRANS OFFRIRONT FORME ET RYTHME AUX USAGERS DE L'AUTOROUTE.

L' autoroute A13 est la plus ancienne des autoroutes françaises. La section Saint-Cloud-Orgeval date même de l'immédiat après-guerre. En ce début de XXI^e siècle, elle se destine à connaître un accroissement du trafic avec la mise en service du nouveau tronçon de l'A86 en souterrain entre Rueil-Malmaison et Jouy-en-Josas. Les travaux sont aussi l'occasion de satisfaire à la politique de résorption des points noirs liés au bruit subi par les riverains le long du réseau routier. Le secteur, en effet, abrite environ 1 200 logements répartis sur trois communes – La Celle-Saint-Cloud, Le Chesnay et Rocquencourt. Plus d'un quart d'entre eux sont soumis à des niveaux de bruit supérieurs à 70 dB(A) le jour et 65 dB(A) la nuit.

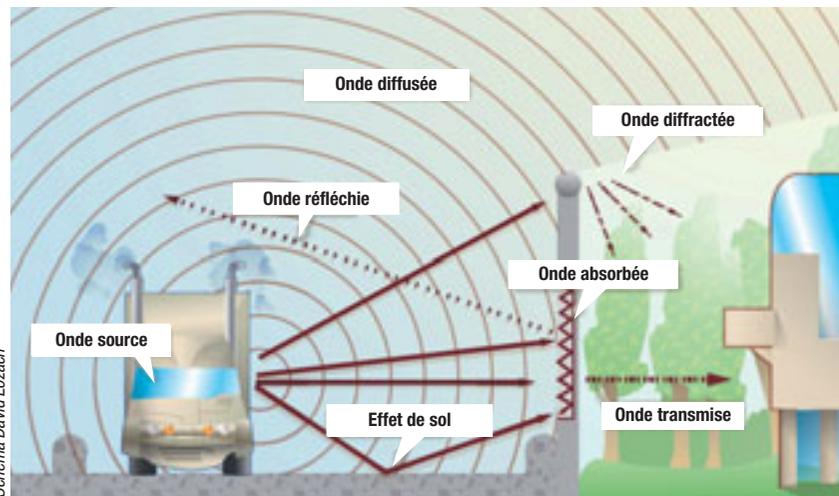
Des riverains acquis au projet de l'architecte

La volonté du directeur départemental de l'Équipement des Yvelines est celle d'une parfaite intégration dans ce secteur sensible, qui s'inscrit dans le périmètre de plusieurs sites boisés (parc de Beauregard, parc de Rocquencourt, forêt de Fausses-Reposes) que la construction nouvelle ne doit en aucun cas dénaturer. Une intention confirmée par Michel

Regemba, architecte urbaniste en charge du projet : "Qu'il s'agisse de l'A86 ou de l'A13, il y a une volonté affichée de se fondre dans le paysage. Il fallait donc contourner le côté 'ajouté', visiblement fonctionnel, de l'écran acoustique." Un projet a été présenté aux riverains qui a finalement emporté l'adhésion. La solution, qui fait appel au béton de bois, exprime parfaitement la démarche esthétique. Poreux, rugueux, le matériau correspond bien aux attentes de ce chantier d'environ 1 600 m de longueur, où les écrans s'étagent entre deux et six mètres de hauteur, de part et d'autre de l'autoroute.

Quand le travail sur l'écran s'apparente au 'land art'

Préfabriqués en usine, les écrans acoustiques de l'autoroute A13 se composent d'une première épaisseur de 12 cm de béton armé formant la structure. Désactivée, cette face correspond au côté riverains. Elle est recouverte d'un treillage métallique destiné à supporter une végétation grimpante. Un "fond de panneau" en béton de bois forme une deuxième épaisseur de 5 cm, sur laquelle vient se plaquer le panneau en béton de bois matricé. Son relief, sa



>>> **Haute efficacité acoustique** — Les écrans sont situés en retrait par rapport à la GBA (glissière en béton armé). Ils ont été dimensionnés en fonction des niveaux sonores maximaux pouvant être émis par le trafic autoroutier dans une configuration à 2x4 voies. Très poreux, le béton de bois de l'écran permet d'absorber une grande partie du bruit. La fraction non absorbée de l'onde sonore est renvoyée, pour partie, vers l'autoroute. Au final, le niveau sonore sera ramené en deçà des seuils réglementaires.

2 questions à Pascal Valentin, RESPONSABLE DE LA MISSION BRUIT AU MINISTRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES

Comment définiriez-vous la politique actuelle de l'État dans le domaine du bruit ?

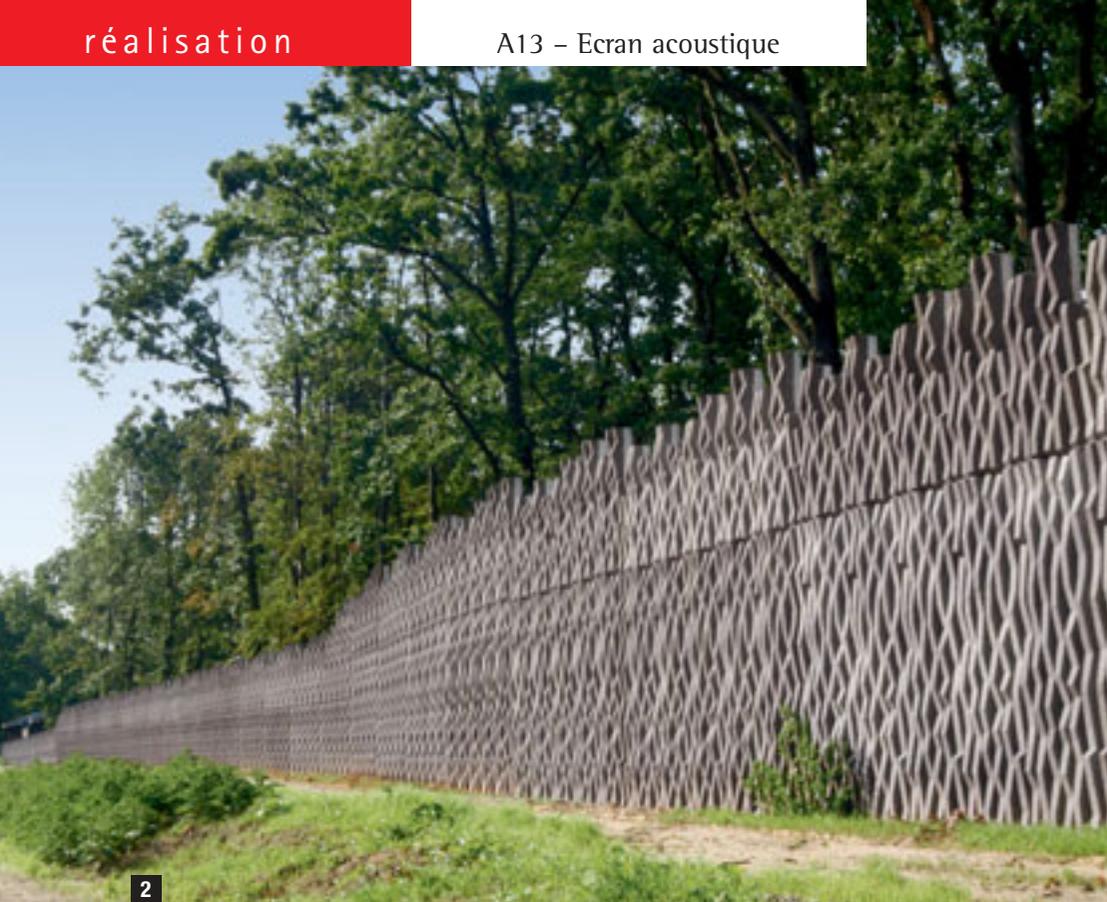
La politique de l'État repose sur trois fondements essentiels. La prévention, tout d'abord, au travers notamment de tout ce que l'on appelle le classement sonore. La protection, ensuite, par l'obligation faite aux constructeurs de bâtiments et d'infrastructures de prendre toutes les mesures nécessaires pour que le bruit ne dépasse pas un certain seuil. La réparation, enfin, par la mise en place de revêtements routiers moins bruyants, d'écrans acoustiques ou de protections de façades, par exemple. Dans ce cas, les interventions à la source sont les plus efficaces. Il est évident que l'éventail des solutions possibles est bien plus large en phase amont, lorsque l'on agit au stade de la protection.

Comment l'autorité et la responsabilité se répartissent-elles sur le territoire ?

L'État n'a obligation d'intervenir en curatif que sur son propre réseau. Mais son autorité s'exerce sur l'ensemble du territoire au travers de la réglementation. Seul le volet curatif est donc transféré aux autres compétences territoriales, pour les voies départementales ou communales. Cette question m'amène à évoquer le classement sonore des infrastructures terrestres mis en œuvre avec la directive 2002/49/CE. Ce classement est en cours d'achèvement pour son premier volet : l'élaboration d'une cartographie du bruit. Le second volet, qui porte sur l'élaboration d'un plan de prévention, devrait aboutir début 2008. ■



>>> 1 600 m d'écrans acoustiques sont en cours d'installation sur l'autoroute A13, dont le trafic va s'accroître avec la mise en service du nouveau tronçon de l'A86.

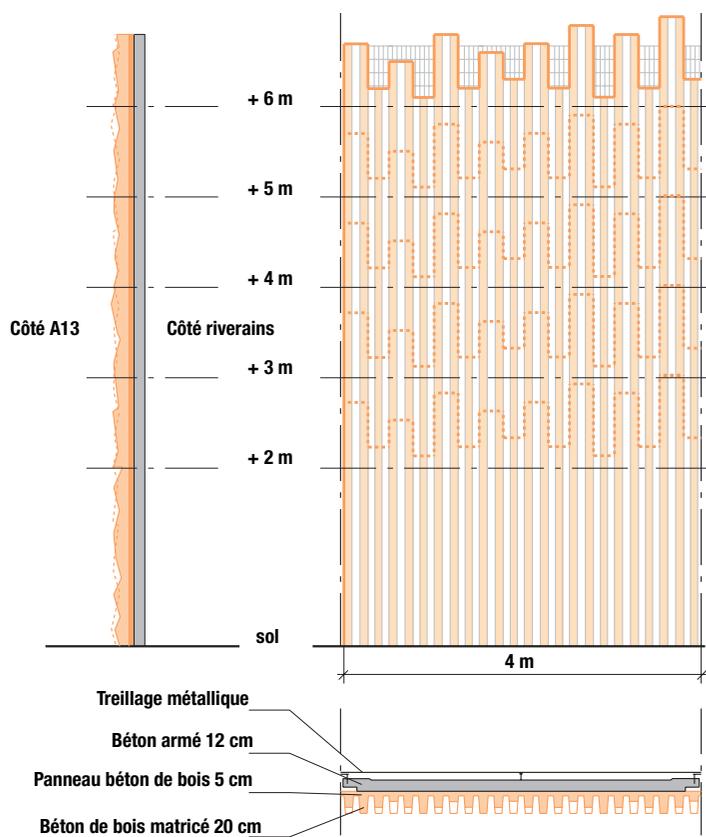


2



3

>>> **2** Relief, teinte et hauteur aléatoire des écrans font écho à l'environnement boisé. **3** Très poreux, le béton de bois, qui peut être décliné en multiples teintes et dessins, absorbe une grande partie du bruit généré par la circulation autoroutière. Ici, le motif se répète tout en jouant sur le décalage aléatoire des parties saillantes.



>>> **Coupe, plan et élévation** – Les écrans s’inspirent des formes courbes végétales présentes dans l’environnement planté. Le béton de bois absorbe le bruit, la teinte et les formes rappellent la couleur et la rugosité des troncs.

teinte (dans les tons de brun) et la hauteur "aléatoire" des parties saillantes font écho aux troncs d’arbres largement présents au voisinage de l’autoroute. "Répétitivité du motif et variabilité des hauteurs en font un vrai travail de 'land art', estime Michel Regembal. Et éventuellement une piste intéressante pour d’autres projets, même si chaque situation est unique." Différents échantillons de teintes ont été proposés par l’entreprise de préfabrication jusqu’à obtention de l’effet désiré.

hêtres et de chênes, toutes essences présentes dans le massif forestier proche, apportera la dernière touche à ce projet. Une façon d’aider l’autoroute à se fondre dans son décor... ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO

Intégration dans le paysage et qualité architecturale

Une attention particulière a été accordée aux traitements architectural et paysager de l’équipement, les deux faces des panneaux répondant à des besoins sensiblement différents. Côté autoroute, le béton à texture bois absorbe le bruit grâce à sa grande porosité. Côté riverains, le traitement en béton désactivé est recouvert d’un grillage métallique destiné à décourager graffitis et bombage et à permettre une végétalisation progressive du mur par des plantes grimpanes. La plantation en second rang de chataîgniers, d’érables sycomores, de



Maître d’ouvrage :
DDE 78

Maître d’œuvre :
Ingérop

Architecte :
Costantini-Régembal architectes

Paysagiste :
TUP
(Thébaud Urbanisme Paysage)

Préfabricant :
Capremib



Le tour est joué pour le pont de Warluis

>>> HAUBANS DISSYMMÉTRIQUES, IMPORTANTE TRAVÉE PRINCIPALE, FINE ÉPAISSEUR DE TABLIER, TRACÉ EN COURBE... CE NOUVEAU PONT ENJAMBANT L'AUTOROUTE A16 AU NIVEAU DE WARLUIS, À 6 KM DE BEAUVAIS, A DÉJÀ TOUT POUR PLAIRE ! LES CONTRAINTES LIÉES À LA NÉCESSITÉ D'UN TABLIER LE PLUS FIN POSSIBLE AU-DESSUS DE L'AUTOROUTE ONT OCCASIONNÉ D'IMPORTANTES DIFFICULTÉS DE RÉALISATION. POUR COURONNER LE TOUT, IL A PRIS SES QUARTIERS DÉFINITIFS DANS SES CULÉES SUITE À UNE ROTATION DE PRESQUE 90°. UNE TECHNIQUE DE PLUS EN PLUS COURANTE MAIS TOUJOURS AUSSI SPECTACULAIRE.



1

2

Réalisé dans le cadre de la déviation sud de Beauvais par la RN 31, le pont à haubans de Warluis accueillera sur ses 16 m de largeur une chaussée à deux voies de 3,50 m chacune, séparées par un terre-plein central de 1,60 m et encadrées par deux bandes d'arrêt d'urgence de 2 m. L'OA 17 est l'un des 18 ouvrages construits sur ces 14 km et sûrement l'un des plus importants. Et pour cause : un tablier de 109 m de long, une travée principale de 87 m ancrée par une paire de 9 haubans, une travée d'équilibre de 22 m retenue par une paire de 5 haubans, une culée contrepoids de 16 m, un pylône de 37,50 m de hauteur au-dessus du tablier et 47 m de hauteur totale... "Des mensurations qui ne sont pas celles d'un très grand ouvrage mais qui sont exceptionnelles pour un pont routier et

qui plus est pour un pont tourné, avec cette grande travée principale, qui commence déjà à faire une belle portée !" souligne Daniel Foissac, ingénieur-chef de projet chez GTM.

Le pont à haubans s'impose

L'une des données techniques importantes de ce projet est ce franchissement de l'autoroute A16 (Paris-Calais) avec un profil en long de la RN 31 relativement bas. "Le gabarit sur route était donc assez important et nécessitait un élanement fort, c'est-à-dire une épaisseur de tablier la plus faible possible pour justement aboutir à un ouvrage dont la sous-face reste au-dessus du gabarit." Pour faire face à ces contraintes de finesse de tablier et pour respecter la portée, le pont à haubans s'imposait. Le tablier, encastré sur le pylône et sur le massif contrepoids, a été construit sur cintre, parallèlement à l'autoroute. Le pylône, lui, se compose de deux mâts fondés sur 4 pieux de 13 m chacun et de 1800 mm de diamètre, plantés dans la craie blanche du Beauvaisis à l'aide d'un béton de classe de résistance C35/45. Sous la culée contrepoids, 12 pieux de 1200 mm de diamètre et de 13 m de

>>> **1** La finesse du tablier et la portée de la travée principale ont imposé la solution du pont à haubans. **2** Solution la plus légère et la plus aérienne aux yeux des concepteurs, le pylône en H a été préféré à la solution des doubles pylônes. La traverse reliant les deux mâts en partie haute est apparue en cours de conception. **3** Les longrines utilisées pour la rotation du pont font partie intégrante de l'ouvrage fini. **4** La culée contrepoids et la traction des haubans servent à compenser le poids de la travée principale qui passe au-dessus de l'autoroute.

long, tandis que sous la culée creuse il s'agit de trois pieux de 1200 mm de diamètre et de 15 m de long, à l'avant, et de trois pieux de 1200 mm de diamètre et de 19 m de long, à l'arrière.

À la recherche de la plus faible chaleur d'hydratation

Pour la partie BPE (béton prêt à l'emploi), le chantier et le casse-tête ont débuté en mars-avril 2006. "Concernant le pylône et le tablier, on nous demandait un C60/75 à faible chaleur d'hydratation donc avec des dosages en ciment faibles", se remémore Alexandre Bourin, responsable qualité Holcim Bétons Nord. Or, pour obtenir ce type de résistance à 28 jours, il faut un dosage en ciment important... L'équation était posée. La formulation du béton a donc supposé une étude importante, réalisée au laboratoire Holcim Bétons d'Amiens. Qui plus est, le béton devait répondre au pro-

blème posé tout en restant facile à mettre en œuvre, c'est-à-dire pompable et avec une rhéologie de 2 heures voire 3 heures minimum. Un premier compromis est trouvé : "Avec l'entreprise Chantiers modernes, nous avons proposé de réaliser un C50/60 tout en gardant comme objectif une résistance supérieure à 60 MPa à 90 jours pour conserver les mêmes épaisseurs de béton sur l'ensemble de l'ouvrage." Deuxième compromis : le choix du ciment. "Il s'agit d'un CEM III/A 42,5 N CE CP1 NF alors que nous sommes dans le cadre d'un tablier précontraint." Ce ciment possède certes une faible chaleur d'hydratation, mais pour un tablier précontraint il faut une résistance élevée au jeune âge. "Or, pour obtenir cette résistance élevée au jeune âge, il faut une quantité importante de ciment. Et qui dit dosage important en ciment dit forte chaleur d'hydratation." Vu qu'il était impossible d'avoir les avantages sans les inconvé-

chiffres clés

- Longueur : **125 m**
Travée principale: 87 m
Travée d'équilibre: 22 m
Culée contrepoids: 16 m
- Largeur : **16 m**
- Hauteur des mâts : **34,5 m**
- Poids : **7360 t**



3

4

nients, la DDE, assistée par les experts des services techniques de l'équipement, a dû trancher en hiérarchisant les priorités. Après une étude de quatre mois – contre six semaines d'ordinaire –, le fournisseur du béton a réalisé un bloc de 16 m³ afin de simuler la réaction du matériau dans l'ouvrage et de vérifier la montée en température du béton au cours de la prise. Et ce, avec une vingtaine de participants au lieu de deux habituellement. Une fois la formulation validée, 2 000 m³ de ce béton ont pu être coulés, dont respectivement 600 m³ pour le pylône et 1 400 m³ pour le tablier.

Jour J pour l'OA 17

Les technologies de mise en place des ouvrages évoluent continuellement pour régler des problèmes de faisabilité, ou pallier les contraintes liées à des travaux menés sans interrompre l'exploitation. "Aujourd'hui, on pose les ponts, on les lance, on les pousse ou on leur fait subir une rotation", résume l'architecte Pierre Loyer. En ce 10 mai 2007, le moment de vérité est arrivé pour l'OA 17 et sa rotation d'environ 90° assurée par l'entreprise Freyssinet. L'axe de la rotation se situe au droit du mât sud du pylône.

P oint de vue de l'architecte Pierre Loyer (AEI)

« Je travaille depuis 25 ans dans le domaine des ouvrages d'art et c'est mon premier pont à haubans ! Aux côtés de l'architecte Philippe Fraleu durant 18 ans, j'ai dessiné plusieurs ponts haubanés mais aucun n'a vu le jour pour des questions de programme, de budget... Aussi j'aimerais lui dédier cet ouvrage. Le pont de Warluis, en effet, était une occasion exceptionnelle d'étudier enfin un pont à haubans destiné à être réalisé.

Le choix de la structure haubanée n'est pas lié à l'esthétique. Il a été fait préalablement à notre intervention, pour des raisons techniques. Tout est parti du niveau du profil en long de la voie supérieure, qui était trop bas pour envisager une solution de type caisson précontraint lancé ou poussé. Qu'importe ! Nous avons accueilli la contrainte du pont haubané avec plaisir, d'autant qu'il ne s'en fait pas tous les jours ! En l'occurrence, il s'agit typiquement de ce qu'on appelle un ouvrage haubané dissymétrique. La travée d'équilibre étant beaucoup plus courte que la principale, il a fallu la charger afin de rattraper cette disparité de

"masse" et ainsi de rééquilibrer les deux travées. La grande travée a donc plus de haubans (9) puisqu'elle est plus longue, et la courte reçoit seulement 5 haubans discontinus se croisant en tête des pylônes.

Pour ce qui est de la forme des pylônes, nous avons exploré différentes solutions : le A inversé, le V, pour finalement aboutir au H. C'était la solution la plus légère, la plus aérienne. À l'origine, il ne s'agissait pas d'un H mais de deux pylônes dissociés en partie haute et reliés uniquement au niveau du tablier. La traverse haute, métallique pour lui donner le moins d'importance visuelle possible, est apparue en cours de conception car les calculs du bureau d'étude ont révélé que sans cette disposition, un des mâts se déplaçait de façon trop importante sous l'effet de la poussée des haubans liée à la courbure de l'ouvrage, elle-même due au tracé en plan. Le profil en long, qui a entraîné le choix d'un ouvrage à haubans, et le tracé en plan courbe à cet endroit, ont donné à l'ouvrage une complexité extrême. Mais quel plaisir de le réaliser ! ■



5



6

➤➤➤ **5** La RN 31 franchit l'autoroute A16 (Paris-Calais) avec un profil en long relativement bas. C'est l'une des données techniques importantes de l'ouvrage et de son tablier remarquable par sa finesse. **6** La grande travée compte neuf haubans, contre cinq pour la travée d'équilibre, plus courte. L'ouvrage appartient donc à la catégorie des ponts haubanés dissymétriques.

L'autre partie du dispositif tient à une longrine de rotation liée au mât nord du pylône, à une longrine arrière installée au niveau de la culée contrepoids, et à des appareils d'appui spéciaux et provisoires comme le vérin pousseur. Fixé sur des tubes creux aménagés dans la longrine de la culée contrepoids, ce vérin développe une puissance de 200 t et fait glisser l'ouvrage de 500 mm à chaque poussée. "Toute la partie contrepoids et la traction des haubans servent à com-

prendre le poids de la travée principale qui va passer au-dessus de l'autoroute", explique Daniel Foissac.

Une rotation de 90° en 6 heures

Résultat : un pont de 125,70 m de long en équilibre statique. Le jour J, les opérations ont duré de 7 heures jusqu'en début de soirée, la matinée étant consacrée aux travaux préparatoires. L'opération de rotation en elle-même a duré

6 heures et toujours sous circulation. "L'autoroute A16 a été réduite à une file par mesure de précaution, pour réduire la vitesse des véhicules, les conducteurs risquant d'être surpris en voyant un pont tourner au-dessus de leurs têtes", raconte l'architecte du projet. Tous les intervenants présents ce jour-là ont apprécié le spectacle mais tous s'accordent à dire que le projet a été un défi technique difficile à relever tant en termes de contraintes que de délais. Pour preuve, l'architecte Pierre Loyer, qui dit avoir l'habitude d'oublier les ouvrages entre le moment où il les dessine et le moment où il les voit terminés, a été

agréablement surpris de la rapidité de construction de l'ouvrage au point d'être étonné qu'on le convie "déjà" à sa rotation. Les automobilistes pourront, eux, y faire un tour dès l'automne 2007, après 20 mois de travaux. ■

TEXTE : MARIE SCHAPLEIN

PHOTOS : RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO

➤➤➤ Le pont de Warluis fait partie des dix-huit ouvrages d'art construits dans le cadre du contournement routier mis en place au sud de Beauvais. Avec son tablier de 109 m de long, dont 87 m pour la travée principale, c'est aussi l'un des plus importants.



Maître d'ouvrage :
DDE 60

Maître d'œuvre :
CETE Nord-Picardie

Études architecturales :
AEI

Bureau d'études :
GTM

Entreprises :
Chantiers Modernes
(groupe Vinci), Freyssinet

Coût :
6,8 M€

solutions

Les bétons prêts à l'emploi (BPE) en génie civil

>>> LES BÉTONS PRÊTS À L'EMPLOI OFFRENT DE MULTIPLES SOLUTIONS

TECHNIQUES POUR LES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL. APPARUS AU XX^E SIÈCLE,

DÉSORMAIS ENCADRÉS PAR LA NORME NF EN 206-1, CES MATÉRIAUX

NE CESSENT DE S'AMÉLIORER ET D'ACCROÎTRE LEURS PERFORMANCES.

ILS PROFITENT DES ÉVOLUTIONS DE LA CHIMIE MINÉRALE ET ORGANIQUE,

MAIS AUSSI DE L'AMÉLIORATION DES OUTILS DE PRODUCTION, EN PARTICULIER

DES CENTRALES À BÉTON (CENTRALES BPE) IMPLANTÉES SUR L'ENSEMBLE

DU TERRITOIRE. LEURS QUALITÉS LEUR PERMETTENT DE S'ADAPTER AUX

EXIGENCES DES CONCEPTEURS, AUX CHOIX ESTHÉTIQUES DES ARCHITECTES,

AUX CONTRAINTES DES CHANTIERS, AUX AGRESSIONS DE L'ENVIRONNEMENT...



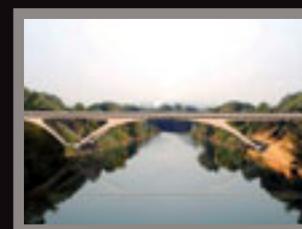
→ **Viaduc de Cambrai** Le point d'orgue du contournement sud de la ville. **p. 17**



→ **Cyclotron de Nantes** Un équipement "haute énergie" pour la recherche médicale. **p. 18**



→ **Digue du port de Monaco** Un territoire gagné sur la mer. **p. 20**



→ **Pont sur l'Hérault** Un ouvrage remarquable à plus d'un titre. **p. 22**

→ Bétons prêts à l'emploi : des produits de qualité pour le génie civil

Matière première essentielle à l'activité même des entreprises de travaux publics, les bétons prêts à l'emploi, ou BPE, appartiennent aujourd'hui aux processus classiques de la construction.

Comment définir simplement un BPE ? "C'est un béton fourni par des centrales de production extérieures à des entreprises", résume Jean-Marc Potier, directeur technique du Syndicat national du béton prêt à l'emploi (SNBPE).

Une production en plein essor

Autrefois, en effet, les entreprises produisaient elles-mêmes ce matériau selon leurs propres besoins sur les chantiers. Le changement de processus est apparu aux États-Unis dans les années 30 où des sociétés se sont spécialisées dans la production et la vente de béton. Depuis, le principe s'est largement répandu à travers le monde. À titre d'exemple, sur le territoire national, on

dénombrerait 1615 centrales BPE en 2001. Cinq ans plus tard, elles étaient 1704. Quant à la production, elle est passée dans ce même laps de temps de 34,5 millions à 43,5 millions de mètres cubes. Les avantages de cette offre sont multiples. L'entreprise n'est pas tenue d'implanter sur son chantier une centrale, qui nécessite un personnel qualifié et doit faire l'objet d'un suivi technique rigoureux. Le réseau d'unités proches des chantiers est important, et des innovations dans les propositions techniques sont possibles. "Le ciment utilisé dans la fabrication du béton de classe de résistance C50/60 des caissons du port de Monaco a été mis au point spécifiquement pour ce chantier afin d'obtenir les meilleures caractéristiques possibles en

termes de durabilité", explique un responsable commercial du BPE. "L'entreprise n'a pas forcément besoin non plus de béton tous les jours, à forte cadence. Une centrale assure la fourniture de plusieurs clients, la production est beaucoup plus régulière et le coût de revient en est diminué d'autant", ajoute Jean-Marc Potier. Autre critère, l'ensemble de la palette des bétons est désormais régi par la norme NF EN 206-1, garante de la qualité des produits fournis, qui représente l'aboutissement de vingt années d'un travail de normalisation européenne réalisé par le TC 104 du Comité européen de normalisation (CEN).

Des responsabilités définies

Cette norme précise notamment les responsabilités des différents intervenants. Responsable de la spécification du béton, le prescripteur s'assure de la prise en compte de l'ensemble des paramètres pour définir le béton à utiliser. Le producteur a la responsabilité de la conformité et du contrôle de la production, l'utilisateur

celle de la mise en place de ce matériau dans la structure. Dans le cas du BPE, à chaque commande, l'acheteur du béton frais est tenu de fournir au producteur toutes les spécifications normatives du béton. "Au-delà des progrès constants du matériau sur son ouvrabilité, c'est-à-dire sa facilité de mise en œuvre, son comportement mécanique, sa résistance aux agressions chimiques, sa tenue au feu, sa durabilité, les recherches sur les bétons se sont beaucoup accélérées depuis dix ans, conclut Jean-Marc Potier. Elles ont abouti aux solutions les plus innovantes proposées de nos jours, tant en termes de conception que de mise en œuvre, d'esthétisme ou de durabilité. Les bétons sont devenus les matériaux de la modernité et de l'innovation. L'étendue de leurs performances physiques, mécaniques et esthétiques ne cesse de s'élargir." ■

TEXTE : MICHEL BARBERON

PHOTOS : DR

technique

Le BPE, c'est quoi ?

Le béton prêt à l'emploi, matériau de construction composite, est essentiellement fabriqué à partir de matières minérales. Pour constituer un mètre cube de BPE, 330 kg de ciment, 800 kg de sable, 1 100 kg de granulats et 150 litres d'eau sont nécessaires. Avec 43,5 millions de mètres cubes de béton produits en 2006, la France se situe au 4^e rang en Europe derrière l'Espagne, l'Italie et l'Allemagne, et devant la Grande-Bretagne. La Région Rhône-Alpes est celle qui compte le plus de centrales (198), loin devant la Provence (148) et la région Midi-Pyrénées (128).



1



2

➤➤➤ **1** Du fait de leur fluidité qui permet de les amener par pompage jusque sur le site de mise en œuvre, les nouveaux bétons facilitent grandement les travaux de génie civil. **2** Des hauteurs élevées peuvent être atteintes.

publication

Guide sur les BPE

Le guide *Les nouvelles solutions des bétons prêts à l'emploi* vient de paraître. Il détaille l'offre multiple du matériau béton à destination du génie civil, et ses diverses techniques de mise en œuvre. Le guide présente notamment la norme béton NF EN 206-1 (devenue depuis 2005 la base normative pour tous les bétons de structure), ses domaines d'application et ses évolutions. Le chapitre 3 est consacré aux eurocodes, normes européennes de conception et de calcul pour les bâtiments et les ouvrages de génie civil, et à la "philosophie" de l'enrobage des armatures suivant l'eurocode 2. Le chapitre 4 présente deux nouvelles offres. Le béton auto-plaçant (BAP), mis en œuvre sans vibration, tout désigné pour les ouvrages de grande hauteur ou de formes complexes, et pour les structures très ferrillées. Seconde offre, les bétons à hautes performances (BHP) qui, outre leur très grande résistance, ont une porosité extrêmement réduite et donc une plus grande résistance aux agents agressifs, qui les destine à la réalisation d'ouvrages pérennes soumis à des contraintes élevées, ou construits dans des environnements sévères : climat rigoureux, agressions marines, cycles de gel-dégel... Le dernier chapitre est consacré aux techniques de mise en œuvre des BAP et des BHP, ainsi qu'aux procédés, matériels et atouts

du pompage du béton.

Le guide, qui porte la référence T43, est disponible gratuitement auprès de Cimbéton (centrinfo@cim beton.net) et auprès du SNBPE (snbpe@snbpe.org).



VIADUC DE CAMBRAI (59)

→ Une relation de partenaires

En cours de réalisation, le contournement routier sud de Cambrai (59), nouvelle rocade traversant l'espace boisé majeur du Cambrésis, comporte douze ouvrages courants et un majeur : le viaduc de l'Escaut (OA2). Cet ouvrage mixte à double poutre métallique et hourdis en béton mesure 284 m de longueur et franchit tour à tour un chemin agricole, le canal de Saint-Quentin, large de 25 m bordé d'un chemin de halage et d'un chemin piétonnier, une zone agricole, et enfin la rivière Escaut. "L'environnement naturel est typique des paysages du nord de la France, lieu de rencontre entre l'eau et la forêt. La végétation est principalement de type arbustive avec feuillus, bouleaux, peupliers. Le site est fragile et sensible, et la présence nouvelle du viaduc devait respecter l'intégrité de ce lieu de promenade", explique l'architecte Alain Spielmann. Le tablier en béton fortement armé, d'une largeur de 12,40 m

et d'une épaisseur de 0,25 m, repose sur deux poutres métalliques hautes de 2 m. Il a été coulé avec un équipement mobile en 23 tronçons de 12,50 m chacun. "Afin de respecter des cycles de bétonnages réguliers et rapides, il était très important de déplacer le coffrage mobile 24 heures après le coulage, dès que le béton atteignait une résistance minimale de 15 MPa", précise Régis Coulombet, responsable qualité de Holcim Bétons région Nord. Chaque coulage était accompagné de nombreux prélèvements et essais sur le béton. Avant de démarrer les travaux, toutes les formules de béton pour les fondations, les piles, les culées et le tablier ont par ailleurs fait l'objet d'essais de conformance. La majeure partie du béton a été mise en œuvre par pompage avec une flèche pouvant atteindre jusqu'à 42 m ! L'ouvrage est fondé sur pieux de 2 m de diamètre et d'une longueur moyenne de 18 m, ancrés dans le substratum de craie saine. "Les chemises métalliques ayant servi à la réalisation des pieux ont été conservées sur les 6 m supérieurs dans les terrains compressibles pour sécuriser

leurs têtes", indique Louis Montigny, conducteur de travaux chez Norpac. Pour respecter les souhaits de l'architecte, un important travail a été mené au niveau des perrés, des piles et des murs des culées. "L'entreprise a un planning très serré et les coulages importants doivent être parfaitement planifiés. En fait, le viaduc de Cambrai nécessite une relation de partenaires plus qu'une simple relation client-fournisseur", conclut Pierre Vuillemin, directeur technique de Holcim Bétons France.

Photo: DR

fiche technique

Maîtrise d'ouvrage : département du Nord

Maîtrise d'œuvre : Direction de la voirie départementale/Unité territoriale de Cambrai

Architecte : Alain Spielmann

Entreprises de génie civil : groupement Norpac/Berthold SA

Volume de BPE : 2 000 m³



CYCLOTRON DE NANTES (44)

→ Des bétons peu ordinaires

Nantes bientôt à la pointe de la technologie dans le domaine de la recherche médicale sur le cancer... À partir de 2008, les chercheurs vont en effet disposer d'un Cyclotron de haute énergie, en cours de construction à Saint-Herblain, près du CHU Nord et du centre régional de lutte contre le cancer René-Gauducheau. Le principe de la construction d'un tel équipement, qui représente un investissement de 30 millions d'euros, a été adopté en décembre 2003 par l'État qui en finance 28 %,

auquel se sont joints la Région Pays de la Loire, les collectivités territoriales partenaires (52 % pour l'ensemble) et l'Europe (Feder, 20 %). Porté sur le plan scientifique par l'université de Nantes, validé par le ministère de la Recherche, l'Inserm et le CNRS, cet équipement sera d'un niveau international et même unique en Europe par ses capacités techniques et ses caractéristiques.

Une machine de 140 tonnes et 4 mètres de diamètre

Faisant partie de la famille des accélérateurs de particules, le Cyclotron nantais est constitué d'une machine de quatre mètres de diamètre, pesant 140 t, instal-

lée dans un bâtiment d'environ 2 000 m². Un champ magnétique fait tourner les particules (des protons, noyaux de l'atome d'hydrogène, ou des alphas, noyaux de l'atome d'hélium) dont la vitesse est accélérée à chaque tour par un champ électrique alternatif. Elles décrivent des cercles de plus en plus grands et lorsque le rayon de la trajectoire atteint la limite extérieure de l'aimant, les particules sont éjectées, guidées et focalisées jusqu'à une cible où elles peuvent être utilisées pour la recherche.

"On ne réalisera sûrement pas deux chantiers de ce type dans une carrière! Tout d'abord, il y a cet aspect intéressant d'une conception-construction

réunissant une équipe pluridisciplinaire: le cabinet d'architecture, le bureau d'études et l'entreprise. Ces compétences permettent de répondre au mieux au programme défini par l'utilisateur et le maître d'ouvrage", estime le directeur d'exploitation de Eiffage Construction. Sur le plan technique pur, la particularité est liée aux épaisseurs de béton peu ordinaires : les voiles et les planchers font jusqu'à 3,70 m d'épaisseur ! Des dimensions qui ont nécessité de nombreuses études, des méthodes et une collaboration permanente avec le fournisseur de béton. *"Pour la réussite de ce type d'ouvrage, il est nécessaire de travailler en partenariat avec notre client. Dès les premiers contacts avec l'entreprise, le res-*

Olivier Collin, responsable Qualité, Lafarge Bétons Ouest

Quelles sont les caractéristiques et particularités de ce chantier ?

Olivier Collin : La particularité de ce chantier du Cyclotron tenait dans le coulage de très grandes épaisseurs de béton – jusqu'à 3,70 m – en limitant au minimum les risques de fissuration liés à la réaction exothermique du béton, d'autant plus importante que la masse de matériau est élevée. Son volume sur l'ensemble du chantier a atteint 9 600 m³, dont une moitié de béton de structure appliqué dans les enveloppes extérieures, et une moitié de béton de remplissage, pour les parties centrales.

C'est une structure spéciale, du fait notamment de la présence de radioactivité. Cela a-t-il demandé des études, des recherches, des processus supplémentaires pour Lafarge ?

O. C. : Le service qualité a étudié et proposé pour les bétons de structure une formulation avec des constituants

spécialement adaptés aux contraintes du chantier. Tout d'abord, le ciment utilisé, avec sa caractéristique "CP1", nous a permis de limiter les élévations de température en début de prise du béton. Ensuite, pour répondre aux spécifications de la norme NF EN 206-1 sur le respect du rapport eau/liant équivalent, nous avons utilisé un adjuvant réducteur d'eau ayant la particularité de retarder la prise et ainsi de réguler le dégagement de chaleur. Enfin, nous avons ajouté des fibres polypropylène pour mieux maîtriser le retrait plastique du béton au jeune âge.

Le maître d'œuvre avait-il des exigences particulières ?

O. C. : Compte tenu de l'importance du volume des murs et des planchers, le client nous a demandé d'étudier un matériau de remplissage avec les mêmes exigences quant à la limitation

des risques de fissuration. Notre expérience sur les bétons spéciaux nous a permis d'y répondre. Grâce à son squelette granulaire et à son adjuvantation spécifique, ce béton offre la garantie d'un remplissage compact et homogène, répondant ainsi à l'exigence de protection contre les radiations.

Avez-vous travaillé avec d'autres organismes pour mettre au point et tester ce béton ? D'ailleurs, avez-vous déjà enregistré des commandes similaires ?

O. C. : Non, nous étions seuls. Mais il est vrai que nous avons régulièrement des demandes de béton à retrait limité pour des ouvrages spécifiques : clavetages, dalles de béton devant supporter des

machines d'assemblage de très haute précision, barrages, etc. Il est évident qu'un tel chantier nous permet de développer une technicité supplémentaire et constitue un atout supplémentaire en termes de références sur notre carte de visite.

Était-ce une commande "difficile" pour vous ?

O. C. : Notre organisation qualité locale est appuyée au quotidien par le centre national d'essais, basé à Vitry-sur-Seine, et par le centre de recherche de L'Isle-d'Abeau. Ce fonctionnement nous permet de bien maîtriser le contrôle de nos produits, la mise au point des formulations selon les demandes de nos clients. Il nous permet aussi de développer de nouveaux produits.

« Le service qualité a étudié et proposé pour les bétons de structure une formulation avec des constituants spécialement adaptés aux contraintes du chantier. »

responsable commercial et le responsable qualité forment une équipe à l'écoute des besoins, afin de répondre précisément au cahier des charges de l'ouvrage. Pour ce type d'affaire, c'est la solution gagnante", confirme Cécile Chauvel, responsable marketing Région chez Lafarge Bétons Ouest.

Les radiations n'autorisent aucune fissure

"La problématique du chantier s'est focalisée sur tout ce qui touche aux fuites de radiations, qui sont à proscrire. On n'a pas droit à la moindre fissure, ce qui explique les recherches menées avec Lafarge pour mettre au point des bétons

dont la fissuration est maîtrisée, explique le conducteur de travaux d'Eiffage. Il y a dans cet ouvrage un ferrailage comme j'en ai rarement rencontré. Dans les voiles épais de 3,70 m entre casemates, ces locaux contenant les cibles du Cyclotron, ferrailés uniquement sur les 40 premiers centimètres, on trouve des armatures de 14 et 16 mm de diamètre entrecroisées tous les 15 cm ! Ajoutons qu'entre deux coulages on ne procède pas à des arrêts linéaires, mais en chicanes. Car les particules accélérées protons et alphas produits par le Cyclotron sont un peu comme des boules de billard : si elles sont bloquées, elles reviennent en arrière." Autre particularité, tous les matériaux doivent être

"décontaminables" pour éviter les problèmes futurs de démantèlement et de traitement des déchets... Pour autant, l'ampleur des volumes mis en œuvre ne dispense pas de procéder avec minutie. Outre les exigences liées au bâtiment proprement dit, les tolérances du plancher-dallage support de la machine sont extrêmement rigoureuses : 0,2 mm ! "En dessous des tolérances de nos lasers", conclut le conducteur de travaux. Autre motif de satisfaction – et non des moindres – sur ce chantier exceptionnel qui a démarré fin 2006 : les délais. La Région souhaitait que le Cyclotron soit opérationnel en janvier 2009, il le sera en septembre 2008.

Photo : W. Berré/Lafarge

fiche technique

Financement : État, Union européenne (Feder), collectivités territoriales

Maîtrise d'ouvrage déléguée : Région Pays de la Loire

Maîtrise d'œuvre : Eiffage construction

Architecte : Jean-Pierre Logerais

Bureaux d'études : ETCO, Lemer Pax, A3C

Entreprise : groupement Eiffage

Volume de BPE : 9 600 m³



DIGUE DU PORT DE MONACO

→ Un territoire gagné sur la mer

Comment augmenter la superficie de son petit territoire – à peine plus de 2 km² aujourd'hui pour Monaco – quand

on est coincé entre mer et montagne ? Réponse, en gagnant sur les deux. C'est ce principe qu'applique depuis très longtemps la Principauté. Dès les années 1900, elle avait commencé à agrandir le lieu-dit Fontvieille, qui n'était alors qu'une étroite grève, par de vastes opérations de remblaiement. À partir du milieu des années 60, elle fait procéder à l'endigement et au comblement d'une superficie représentant plus de 22 ha sur laquelle naîtra un peu plus tard le nouveau quartier de Fontvieille. Plus récemment, elle a encore récupéré quelque 4 hectares de l'ancienne plate-forme extérieure ferroviaire de la ligne Marseille-Vintimille, qui passe désormais dans un tunnel creusé sous le Rocher. Toujours dans le cadre de son extension et pour renforcer l'accueil et les services aux plaisanciers, le dernier chantier de ce type est la construction d'un quai de 170 m de longueur, baptisé Louis II, ainsi que des quais côté avant-port des

dignes Nord et Sud, d'un merlon central et des mouillages. Particularité, ces extensions sont constituées au total de 17 caissons préfabriqués en béton armé aux dimensions impressionnantes : 42 m de longueur, 12 m de largeur, 7,50 m de hauteur, un poids maxi de 2 500 t, soit 900 à 1 000 m³ de béton pour les plus importants des six types de caissons. Ce choix technique d'un ouvrage creux, positionné soit sur des pieux en béton armé, soit sur une plate-forme marine, a été préféré à un remblayage car il permet de dissiper les phénomènes de houle dans le port.

De Marseille à Monaco, des caissons transportés par mer

Quatre caissons constituent le quai Louis II, trois autres immergés servent d'appui au dispositif de mouillage. Les dix derniers sont utilisés pour les digues existantes de la passe d'entrée du port.

“C'est une technique assez fréquemment mise en œuvre sur des aménagements portuaires de cette ampleur. Monaco ne disposant pas de structures de chantier suffisantes, et étant donné la complexité de l'environnement, la préfabrication des caissons s'est effectuée sur un site extérieur, en l'occurrence le port autonome de Marseille”, explique Pierre Billet, responsable de cette opération et chef de service adjoint travaux chez Bouygues TP.

En fonction de sa taille, la réalisation d'un caisson prenait trois à quatre semaines par station de travail, la première concernant le radier et les voiles extérieures, la deuxième les voiles intérieures, la troisième la préfabrication des dalles et leur pose. Rendu étanche par des obturateurs Jarlan, du nom de son concepteur, le caisson était ensuite mis à l'eau par l'intermédiaire d'une plate-forme – une sorte d'ascenseur suspendu par des vérins – avant son remorquage de Marseille à Monaco, effectué en 48 heures si la météo était favorable. Un ballastage en eau permettait alors son immersion définitive, soigneusement contrôlée.

Le tout premier des quatre caissons du quai Louis II est arrivé en août 2006. Les derniers ont pris leur place dans le port monégasque en juin dernier, et le gros œuvre du chantier s'est achevé dans le courant de l'été. *“Les difficultés étaient de deux ordres, conclut Pierre Billet. La complexité de fabrication des caissons, qui sont très ouvragés, et leur pose, avec des tolérances assez serrées pour obtenir un quai uniforme.”*

PHOTOS : DR

fiche technique

Maîtrise d'ouvrage : SNC Saipem – Bouygues TP (mandataire)
Maîtrise d'œuvre : Setec – Accri
Contrôle technique : Veritas Monaco
Volume de BPE : 12 500 m³

ROCADE À MARSEILLE (13)

→ Trois en un

Imaginez une sorte de "boîte" creusée sous une grande artère très fréquentée. Un passage souterrain routier, comme il s'en crée fréquemment dans les grandes villes pour supprimer un carrefour à niveau et éviter ainsi les conflits de circulation. C'est l'une des composantes de l'échangeur Florian, en cours de réalisation à Marseille, qui consiste à créer les ouvrages nécessaires au raccordement de la future rocade L2 sur l'autoroute A50 à 2 x 3 voies où circulent 130 000 véhicules par jour. Cet échangeur est en fait constitué de trois tranchées couvertes de 5,10 m de gabarit. "La trémie sud, couverte sur 100 m de long, d'une largeur de 14 m et accompagnée de 400 m² de murs de soutènement, la trémie nord, qui atteint 500 m de long et 11 m de large et plonge sous le niveau de l'autoroute parallèlement à celle-ci. Enfin l'extrémité de la trémie L2, qui est une double tranchée couverte de 2 x 16 m de large, finissant sur la trémie nord", énumère Peyo Cordova, ingénieur travaux chez GTM GCS. À l'endroit où doivent être réalisés ces ouvrages, nous avons en outre un carrefour giratoire urbain qui passe au-dessus de l'autoroute et de part et

d'autre de celle-ci, composé de deux ponts datant des années 60. La particularité de ce chantier tient dans la réalisation des trois ouvrages principaux en maintenant en service les voies de l'autoroute ainsi que le giratoire urbain."

Un chantier mené en trois phases

Les chiffres de ce chantier parlent d'eux-mêmes : 50 000 m³ de terrassements, 21 000 m³ de béton, hors les parois moulées qui représentent une surface de 20 000 m², soit environ 16 000 m³ de béton, 3 000 t d'armatures... Le chantier, engagé début 2004, a été scindé en trois phases. Étalée sur 20 mois, la phase 1 a consisté à construire une partie de la trémie L2 et la trémie sud, dans le sens Marseille-Aubagne, ce qui a nécessité la déviation ou le rétrécissement de certaines voies et le remplacement des ponts franchissant l'A50.

Pour maintenir le giratoire Florian, deux ponts provisoires de 40 m de longueur ont été créés au-dessus de l'autoroute, permettant ainsi de démolir les anciens ouvrages et de libérer l'espace pour les travaux de la trémie sud. Au début de cette phase, le tracé de l'autoroute a été modifié uniquement dans le sens

Marseille-Aubagne. En fin de phase, les deux sens de l'autoroute ont été déviés afin de démarrer la phase 2.

Maintien des voies en circulation

La phase 2, menée de janvier à avril 2006, a consisté à réaliser une partie des parois moulées de la trémie nord, les équipements de la trémie sud permettant sa mise en service, et à déplacer une dernière fois l'autoroute A50 pour libérer l'intégralité de l'emprise pour la phase 3. Engagée fin avril 2007, la phase 3 visait à créer une passerelle piétonne, à terminer les trémies L2 et nord, à construire les deux ponts définitifs permettant de rétablir le giratoire Florian à son emplacement d'origine.

"Le carrefour Florian faisait partie de l'un des grands chantiers de génie civil en cours sur Marseille. Les coulages atteignaient jusqu'à 400 m³ en matinée pour les radiers ou les dalles de couverture, et 80 à 100 m³ l'après-midi pour les voiles. Des volumes très importants à fournir dans des délais très courts, ce qui nous a obligé à adapter et à optimiser notre logistique de livraison", indique Pierre Audemar, responsable commercial chez Lafarge bétons. "Les techniques mises en œuvre sont parfaites"

connues et maîtrisées : réalisation de parois moulées, de voiles, de dalles en béton armé. La géométrie est un peu particulière, et pour la trémie nord, on a terrassé pour partie en taube afin de réaliser le radier entre les parois moulées. La spécificité de ce chantier est surtout liée à la réalisation de l'ouvrage par petits bouts, selon un phasage très détaillé. Nous devons travailler dans des emprises réduites, avec obligation de déplacer à la fois l'autoroute et les voiries de surface. Et la difficulté majeure était justement de maintenir en permanence toutes ces voies en circulation", conclut Peyo Cordova. Mission accomplie. Les entreprises ont terminé fin juillet...

Photo: DR

fiche technique

Maîtrise d'ouvrage : Direction régionale de l'équipement Méditerranée

Maîtrise d'œuvre : Direction départementale de l'Équipement

Entreprises : Campenon-Bernard Méditerranée (mandataire), GTM GCS, Eiffage TP, Solétanche-Bachy, Botte-Fondations, Eurovia, Appia 13

Volume de BPE : 37 000 m³





PONT SUR L'HERAULT (34)

→ Aucun appui en rivière

Problème posé : créer un nouveau pont sur l'Hérault pour l'autoroute A750 construite dans le cadre de la liaison autoroutière A75/A9, à environ 25 km au nord-ouest de Montpellier, en tenant compte de deux critères essentiels. Qu'il s'intègre de façon harmonieuse dans l'environnement et surtout ne fasse pas d'ombre à l'un des plus beaux ouvrages en maçonnerie du XVIII^e siècle, implanté à 200 m, qui est inscrit à l'inventaire des Monuments historiques : le pont à trois arches de Gignac, réalisé par l'architecte Bertrand Garipuy. C'est cette équation délicate que les concepteurs ont eu à résoudre dans le cadre de la réalisation de cette section de l'A750, située entre

l'échangeur de Saint-André-de-Sangonis Est et la RD 32. La mission consiste à réaliser une mise à 2 x 2 voies autoroutières sur 2,5 km, à reprendre l'échangeur de Gignac Sud et à construire ce nouveau pont. Dès l'origine, la technique du béton précontraint a été retenue, par souci "d'économie de matière, de réduction de poids et de performances mécaniques", détaille Chantal Caron, conseil en communication grands travaux routiers à la Direction régionale de l'équipement du Languedoc-Roussillon. Le tablier de ce pont en arc mesure 130 m de longueur, 24 m de largeur, et domine de 17 m l'étiage, la cote habituelle du niveau d'eau ; mais il a été étudié pour demeurer à 5 m au-dessus de la crue centennale. La portée de l'arc de cercle principal, ancré sur la rive droite, atteint 70 m. Cet arc est complété d'un demi-arc posé sur le remblai en rive gauche. "Il fallait rappeler l'architecture du pont historique et assurer une transparence hydraulique en n'implantant aucun appui dans la rivière", précise Chantal Caron. Conséquence, la complexité de cet ouvrage, qui représente un poids total de 10 000 t, tient au déséquilibre dans sa structure lié à la dissymétrie entre ses deux arcs, et à l'écartement des béquilles qui se réduit progressivement en montant vers le tablier. "Cela a demandé de nombreux calculs à l'aide de logiciels spécifiques pour vérifier la faisabilité de l'ouvrage

et l'optimiser. C'est du sur mesure, coulé en place avec une structure provisoire qui sera enlevée ensuite", poursuit Chantal Caron. L'arc est constitué de deux nervures longitudinales précontraintes, coulées en place sur un cintre supporté par des palées provisoires implantées en rivière. Les poutres transversales préfabriquées prennent appui sur les nervures avec un espacement de 2,5 m. Le tablier est bétonné en place et précontraint transversalement.

Une forme géométrique très complexe

"Nous avons déjà réalisé d'autres ouvrages en arc, notamment à Limoges, sur la Vienne. Mais celui-ci est très complexe dans sa forme géométrique, avec des faces coffrées suivant des pentes importantes et différentes selon que l'on est à l'intérieur ou à l'extérieur de l'ouvrage. C'est un cran au-dessus en termes de difficulté par rapport à Limoges", reconnaît Emilie Brulin, ingénieur travaux chez GFC Construction. "Compte tenu de l'ouverture de l'arc (65 m) et de sa hauteur (10 m), cela se traduit par des démarrages des pieds d'arcs suivant une forte pente, avec des outils spécifiques, des panneaux métalliques de coffrage que l'on fait fabriquer sur mesure et qui ne servent qu'une fois. Le béton de classe de résistance C70/85 contient des

fumées de silice, afin d'augmenter sa résistance et d'améliorer son comportement vis-à-vis du fluage, auquel les ponts en arc sont particulièrement exposés. La mise en œuvre de ce béton très plastique est conditionnée, soit par un coffrage sur toutes les faces avec utilisation d'un film anti-bullage sur les faces supérieures, soit par la nécessité pour les surfaces non coffrées de revenir le travailler plusieurs heures après le bétonnage." Les travaux de ce pont hors norme, qui respectera les préceptes de son "ainé", doivent s'achever en fin d'année, l'ouverture de cette section autoroutière étant prévue pour le printemps 2008.

PHOTOS : DR

fiche technique

Maîtrise d'ouvrage : Direction régionale de l'équipement Languedoc-Roussillon, Service de maîtrise d'ouvrage des routes

Maîtrise d'œuvre : Direction interdépartementale des routes Méditerranée, Service d'ingénierie routière de Montpellier

Concepteur général : Michel Virlogeux

Architecte : Charles Lavigne

Bureau d'études : Arcadis, Secoa

Entreprise : GFC Construction (filiale régionale de Bouygues Construction)

Volume de BPE : 3 200 m³



Grands travaux en territoire d'exception

>>> ÉLÉMENTS ESSENTIELS DE LA FUTURE ROUTE DES TAMARINS, À LA RÉUNION, LE VIADUC ET LA TRANCÉE COUVERTE DE SAINT-PAUL SONT ACTUELLEMENT EN COURS DE RÉALISATION. UN CHANTIER D'ENVERGURE, MARQUÉ PAR UNE MULTIPLICITÉ DE CONTRAINTES. LES PARTICULARITÉS DU SOUS-SOL, D'UNE PART, ONT FAIT DU VIADUC UN CHANTIER TRÈS TECHNIQUE. LE NÉCESSAIRE RESPECT DU SITE TRAVERSÉ, D'AUTRE PART, A INFLUENCÉ LE DESSIN DE SA STRUCTURE. TÉMOIN, LA LONGUEUR RÉDUITE AU MINIMUM ET LES TRAVÉES QUI S'ALLONGENT À MESURE QUE L'OUVRAGE S'ÉLÈVE, CONTRIBUANT AINSI À UNE INTÉGRATION HARMONIEUSE DANS LE PAYSAGE DE L'ÎLE.



Véritable outil de développement économique facilitant les liaisons entre le nord et le sud de l'île, la route des Tamarins, qui reliera d'ici à 2009 les villes de Saint-Paul et de L'Étang-Salé, à l'ouest de l'île de La Réunion, répondra aussi à l'expansion démographique locale. Le viaduc de Saint-Paul constitue

à la fois la porte d'entrée de cet itinéraire de 33 km et l'un des plus importants des quatre ouvrages d'art exceptionnels prévus sur le tracé. Il s'inscrit dans un étroit couloir formé d'un côté par une falaise haute de 80 m, de l'autre par un front bâti urbain bordé par une route nationale. À partir de celle-ci, le viaduc s'élève vers le plateau de la savane de Cap-la-Houssaye pour atteindre l'entrée d'une tranchée couverte située à une trentaine de mètres sous la ligne de crête.

Afin de ne pas défigurer une ravine classée pour son intérêt paysager – la ravine Bernica –, l'emplacement initial de l'ouvrage a été modifié et sa longueur réduite. Avec pour conséquence un renforcement de la pente, portée à environ

6 %, ainsi que la nécessité de créer une voie spéciale pour les véhicules lents dans les sens montant et descendant. Cette spécificité fonctionnelle a imposé un tablier d'une largeur inhabituelle : près de 27 m. De ce fait, le monoaïsson en béton qui le soutient est précontraint longitudinalement et transversalement. Une autre particularité tient au tracé en plan de l'ouvrage, qui consiste en une courbe en S présentant un dévers important et variable – de 2,5 % vers la falaise à 3,8 % vers la mer. "La solution retenue pour maintenir le parallélisme des hourdis inférieur et supérieur, et ainsi obtenir un profil unidéversé sur l'ensemble du

viaduc, a consisté à imprimer une rotation au tablier", explique Frédéric Zirk, l'architecte chargé de la conception. Enfin, le dessin de la structure a été influencé par la volonté d'allonger les travées au fur et à mesure de l'élévation, afin de rendre l'intégration du viaduc dans le paysage la plus harmonieuse possible.

Jusqu'à 20 mètres de remblais au-dessus de la tranchée

La sous-face du tablier, qui sera largement visible depuis la ville, a fait l'objet d'un soin particulier : des bracons métal-

chiffres clés

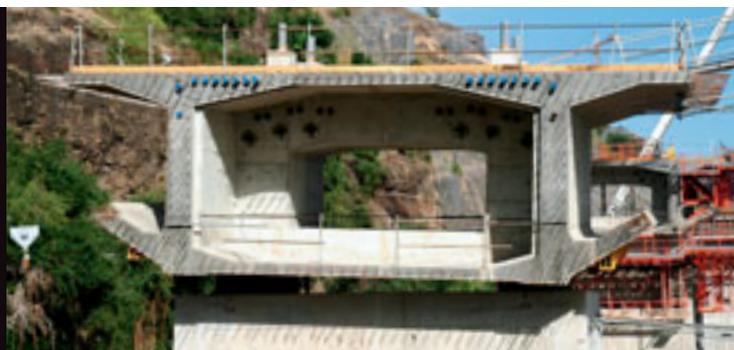
Viaduc

- Longueur : **756 m**
- Longueur des travées : **34,50 m**
– 5 x 60 m – 78 m – 3 x 96 m – 55,50 m
- Hauteur des piles : **de 6 à 40 m** environ
- Largeur du tablier : **26,7 m**
- Épaisseur du tablier : **4,55 m**
- Béton des barrettes : **6 160 m³**
- Béton armé : **13 700 m³**
- Béton précontraint : **17 850 m³**

Tranchée couverte

- Longueur : **150 m**
- Hauteur des remblais : **jusqu'à 20 m**
- Béton projeté : **2 610 m³**
- Béton armé : **9 080 m³**

>>> Du fait des deux voies lentes rendues nécessaires par la pente de l'ouvrage, le tablier atteint une largeur inhabituelle de 27 m. Le monoaïsson en béton est précontraint longitudinalement et transversalement.





>>> **Les viaducs de la Savane** – Situés au sud de Saint-Paul, les viaducs de la Savane ont été dessinés dans un esprit de transparence maximale. Cette volonté s'est traduite par deux tracés en courbe parallèles, suffisamment écartés pour éviter l'effet de masque dans le paysage. Photos : Hervé Douris.



>>> Le viaduc sur la ravine des Trois-Bassins

Le numéro spécial ouvrages d'art 2006 de Construction moderne décrivait cet ouvrage au stade de la réalisation des piles. Le groupement d'entreprises procède maintenant à la réalisation des voussoirs par encorbellements successifs.
Photos: Hervé Douris.



2



3

>>> **2** Du fait des contraintes associées à la réalisation du viaduc de Saint-Paul – milieu urbain, risques de cyclones, etc. –, des études menées avant le début des travaux ont conduit à ancrer au sol les grues de chantier.

3 Le dessin des piles explique la complexité de l'équipage mobile et des outils de coffrage.

liques en forme de V seront installés pour briser la régularité d'aspect du béton. Les dix piles, quant à elles, sont constituées de deux fûts parallèles en forme de quartier d'orange, séparés par des ouvertures donnant un effet de transparence entre falaise et océan. L'utilisation d'une peau coffrante à fort relief y favorisera les jeux de lumière sur le béton. "L'étude architecturale que j'avais menée avec mon collègue Pierre-Guillaume Dezeuze nous avait conduits à préconiser l'emploi de béton coloré dans la masse pour tous les ouvrages de la route des Tamarins, afin de se rapprocher de 'l'esprit' de La Réunion, se souvient Frédéric Zirk. Suite aux essais, il a été décidé pour des raisons techniques et économiques de ne pas opter pour cette solution sur tous les ouvrages." L'idée sera néanmoins mise en œuvre sur la tête nord de la tranchée couverte, sous la forme d'un glacis frontal prolongeant au-dessus des tubes les lignes des différentes strates géologiques. Au niveau de la jonction entre les murs latéraux et la trace des déblais, une opéra-

tion de "lifting" géologique sera réalisée au moyen d'un système de plateformes. Celles-ci supporteront une structure en treillis soudé et en béton projeté coloré, dans laquelle seront incrustées des roches basaltiques. Contrairement aux tranchées classiques, dont la couverture excède rarement 2 m, l'ouvrage de Saint-Paul supporte jusqu'à 20 m de remblais. D'où le choix d'élever des traverses supérieures voûtées (9,50 m à la clé) selon deux rayons de courbure distincts, afin de rattraper les différences de hauteur entre le piédroit central et le piédroit latéral.

Un coulis de ciment injecté sous haute pression

Du fait de l'enclavement et du caractère urbain du site, l'ouverture du chantier a été précédée par des études spécifiques portant en particulier sur l'implantation des grues et sur les nuisances environnementales. "Un risque de conditions cycloniques, avec des vents pouvant dépasser 200 km/h, nous a incités à

ancrer les grues au sol, voire, pour les plus hautes, à les arrimer aux fûts des piles", complète Michel Placidi, conseiller scientifique et technique pour Razel, l'entreprise mandataire. Hétérogénéité du sous-sol réunionnais oblige, la réalisation des fondations du viaduc a donné du fil à retordre aux opérateurs. Faute de pouvoir atteindre le substratum, des barrettes de section moyenne (0,80 x 5 m), dont le nombre varie de 3 à 10 en fonction des appuis, ont été introduites dans la couche de blocs basaltiques, jusqu'à 25 m de profondeur. Restait à stabiliser les blocs sous l'effet de l'effort vertical ainsi provoqué. Comment? "En faisant appel à la technique du jet grouting, qui consiste à injecter un coulis de ciment, sous très haute pression, dans la zone d'influence des barrettes", répond Michel Placidi. Pour faire face aux contraintes de construction liées à la grande largeur du tablier, la décision a été prise de procéder en deux temps : le caisson central sera réalisé par encorbellements successifs en béton coulé en place dans un équipement mobile, avant de recevoir un outil coffrant spécial permettant de couler les deux ailes latérales et de mettre en place les bracons métalliques.

L'ouvrage devrait pouvoir être mis en service conformément au calendrier prévu, soit fin 2008-début 2009. ■

TEXTE: MATHIEU PEROTIN

PHOTOS: LUC REYNAUD/RAZEL



Maître d'ouvrage :
Région Réunion

Maître d'œuvre :
DDE de La Réunion

Conception :
Service d'études techniques
des routes et autoroutes

Architectes :
Dezeuze, Faup, Zirk

**Construction
en groupement :**
groupe Razel (mandataire),
Bilfinger Berger AG, Eiffage TP,
Matière

Angers contournée

>>> LES TRAVAUX DU CONTOURNEMENT

NORD D'ANGERS PAR L'AUTOROUTE A11

SONT EN COURS. PLUSIEURS OUVRAGES

COMPLEXES LE JALONNENT : L'ÉCHANGEUR

SUR LA RD106 AVEC SES TROIS NIVEAUX,

PAR EXEMPLE. L'OUVRAGE A IMPOSÉ DES

CONDITIONS DE RÉALISATION PARTICULIÈRES

POUR QUE LA CIRCULATION NE SOIT

PAS INTERROMPUE. AUTRES OUVRAGES :

LE VIADUC SUR LA MAINE ET UNE TRANCHÉE

COUVERTE DE 1 700 M DE LONG.

TRAIT D'UNION ENTRE PARIS ET NANTES,

LE TRAJET SERA OUVERT AUX USAGERS

FIN 2008 ET PERMETTRA DE DÉSENGORGER

LA VOIE DES BERGES DE LA MAINE

QUI SUPPORTE UN TRAFIC CROISSANT.



Le contournement nord d'Angers par l'autoroute A11 est un chantier exceptionnel par la diversité de ses ouvrages. Il compte 18 km d'autoroute, 5 échangeurs dont celui sur la RD106 conçu sur 3 niveaux, un viaduc de 532,50 m de longueur sur la Maine, une importante tranchée couverte de 1 700 m de long et une quinzaine d'ouvrages d'art courants. Au total, plus de 120 000 m³ de béton seront coulés dont 70 % pour la tranchée couverte, 10 % pour le viaduc et 20 % pour les ouvrages annexes.

Contourner la ville en respectant l'environnement

Prévu depuis plus de 30 ans, le chantier a démarré en mai 2004. Ce projet était envisagé dès que le trafic empruntant la voie express intérieure de la ville atteindrait 60 000 véhicules par jour ; ce seuil a été dépassé dans les années 90 et environ 92 000 véhicules circulent actuellement chaque jour. Construit sur une durée de 4 ans (mise en service fin 2008), le tracé traverse cinq communes très urbanisées, imposant des techniques et des matériaux de construction respectueux de l'environnement.

chiffres clés

Viaduc sur la Maine

- Longueur : **532,50 m**
- Travées : **44 m - 7 x 63 m - 44 m**
- Largeur du tablier : **20,90 m, à 2 x 2 voies**
- Béton : **8 900 m³**
- Armatures : **1 300 tonnes**

Tranchée couverte

- Longueur : **1 700 m**
- Largeur : **28,50 m**
- Béton : **75 000 m³**
- Armatures : **7 500 tonnes**
- Déblais : **626 000 m³**
- Remblais : **250 000 m³**

Échangeur de la RD106

- Bretelles : **8**
- Remblais : **520 000 m³**
- Merlons : **110 000 m³**

Située sur les communes d'Angers et d'Avrillé, la tranchée est réalisée conformément aux dispositions réglementaires en matière de travaux de génie civil et d'équipements de sécurité pour les tunnels de plus de 300 m. Elle présente l'avantage d'offrir 10 ha aménageables pour les riverains et d'assurer une protection phonique. Elle est composée de deux tubes unidirectionnels de 13,30 m de large chacun, un par sens de circulation et est conçue pour passer à 2x3 voies ultérieurement. Elle représente à elle seule 800 000 m³ de terrassement sur les 2 200 000 m³ totaux du projet. "La couverture de la tranchée est composée de dalles en béton de 320 m³ qui sont coulées chacune en quatre heures", précise Benoît Sivault, coordinateur de chantier chez Unibéton.

"Le maître d'œuvre a fixé un objectif de résistances mécaniques du béton de 5 MPa à 14 heures pour les voiles de la tranchée couverte et de 23 MPa à 36 heures pour les traverses. Nous avons mis en œuvre deux méthodes afin d'évaluer la montée en résistance du béton dans l'ouvrage, explique Philippe Patillot, ingénieur technico-commercial au sein de l'entreprise Ciments Calcia. D'abord, la simulation thermomécanique, puis la maturométrie (suivi de la montée en résistance du béton dans l'ouvrage durant le chantier) pour décoffrer en toute sécurité, tout en optimisant les délais de décoffrage".

Une tranchée sous haute sécurité

Dans cet ouvrage, la sécurité en phase de service sera particulièrement contrôlée : surveillance vidéo avec détection automatique d'incident, interdiction du transit de matières dangereuses, niches de sécurité tous les 100 m avec postes d'appel d'urgence, issues de secours tous les 200 m, 3 postes d'extractions pour les incendies composés chacun de 6 extracteurs pour expulser à l'extérieur du tunnel les gaz d'échappement en cas de trafic ralenti, etc.



>>> **1** Le viaduc sur la Maine, tablier mixte acier-béton, d'une longueur totale de 530 m est composé de sept travées de 63 m et de deux travées de 44 m. **2** Les piles, au dessin original, ont été conçues par le cabinet d'architecture Lavigne. **3** Les éléments matricés du mur de soutènement en Terre armée® encadrent l'A11 sur 200 m.



4



5

Sécurité toujours, un béton à base de fibres polypropylène a été testé par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et mis en œuvre pour la première fois en France à l'occasion de cet ouvrage. Pour les parois de la tranchée, le béton de classe de résistance C 30/37 comprend des fibres polypropylène (dosage : 1,2 kg de fibres/m³) et un superplastifiant de nouvelle génération. Le béton est un matériau poreux qui renferme de l'eau dont une partie est simplement nécessaire à l'ouvrabilité à l'état frais. En cas d'élévation importante de la température, l'eau, restée prisonnière, se

transforme en vapeur qui crée des contraintes internes pouvant entraîner un écaillage du béton en surface.

Résister au feu grâce au béton de fibres polypropylène

L'incorporation dans le béton de fibres polypropylène (1 à 3 kg/m³) permet d'améliorer la tenue au feu du béton, sans affecter sa résistance. En effet, les fibres fondent lorsque les températures atteignent 140 à 170°C. Elles créent ainsi en fondant un réseau tridimensionnel constitué d'une multitude de petits

capillaires connectés (réseaux de drains) qui vont permettre à la vapeur d'eau de s'échapper et éviter les surpressions. Ce phénomène constitue un moyen efficace pour limiter l'éclatement de surface d'un béton soumis à une élévation de température excessive.

Le viaduc sur la Maine permet à l'autoroute A11 de franchir la rivière. Ses fondations reposent sur des pieux tubés perforés situés de 6 à 20 m de profondeur. L'ouvrage est un bipoutre mixte acier/béton de 532,50 m de longueur pour 20,90 m de largeur (2x 2 voies). Il est composé de 7 travées de 63 m et de 2 travées de 44 m, le tout reposant sur 8 piles en béton (deux dans la Maine) de 6,50 m à 20,60 m de hauteur et deux culées.

Viaduc sur la Maine : des piles à l'architecture élaborée

De conception architecturale originale signée du cabinet d'architecture Lavigne-Chéron, les piles sont composées d'un fût de 8,90 m en forme de losange dont les faces sont en partie matricées, surmonté d'un chevêtre de 7,50 m dans la continuité de la forme du fût. Le fût est coulé en une seule levée et sa base est soit enterrée, soit sous l'eau. Les piles

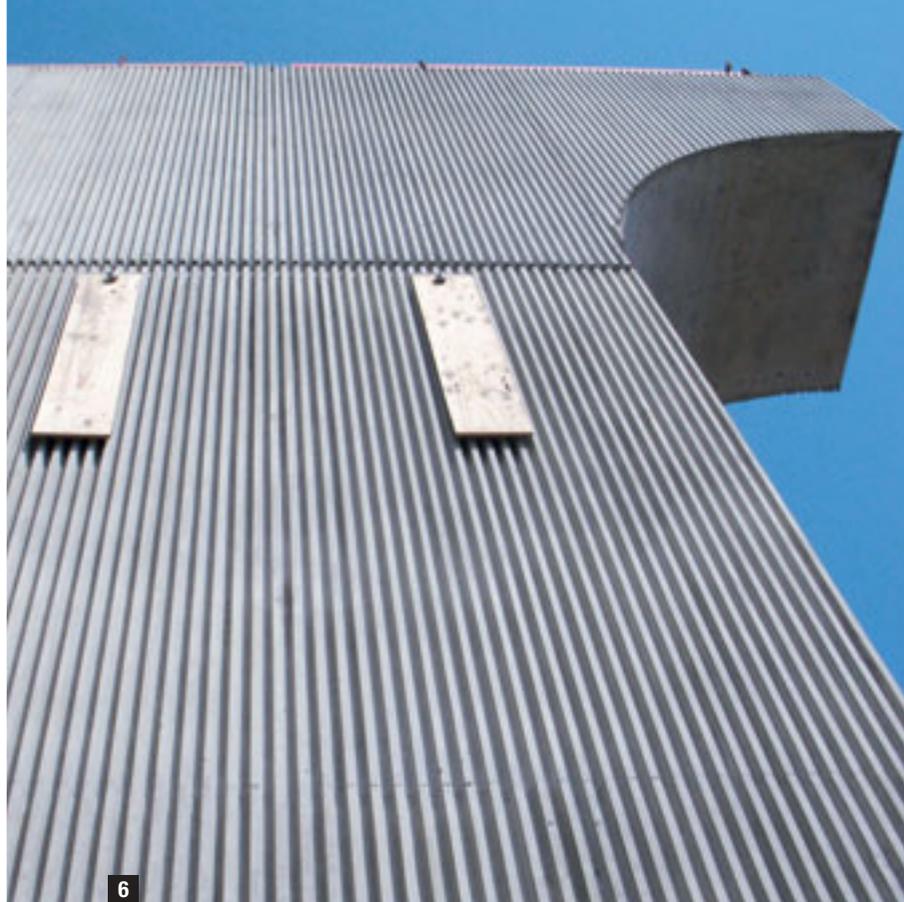
comme les chevêtres sont pleins, impliquant des volumes de bétons respectifs de 114 m³ et 132 m³ (l'utilisation d'un ciment à chaleur d'hydratation modérée, type CEM II/A-LL 42,5 R CE PM CP2 NF, a permis de maîtriser les phénomènes exothermiques). Le viaduc est constitué de deux poutres métalliques longitudinales reliées par des poutres métalliques transversales et recouvertes d'une dalle de béton armé de 25 cm d'épaisseur. Le tablier métallique est poussé d'un seul côté avec un avant-bec et le hourdis béton est coulé en place à l'aide de deux équipages mobiles spécifiques par plots de 12 m qui doivent en particulier épouser la très forte courbure de l'ouvrage (790 m de rayon). Plus de 8 900 m³ de béton et 1 300 tonnes d'armatures ont été nécessaires à la construction de cet ouvrage.

La longueur et l'emplacement du viaduc ont été spécialement étudiés pour qu'il ne provoque aucun impact sur les berges et qu'il ne perturbe pas l'écoulement de la Maine. Un écran acoustique transparent installé le long du viaduc permet ainsi aux automobilistes de conserver le point de vue sur la Maine et l'île Saint-Aubin. Autre ouvrage non courant de ce chan-

technique

La simulation thermomécanique

La détermination de la courbe de référence et du dégagement de chaleur du béton permet, avant le début du chantier, de simuler la montée en résistance du béton dans l'ouvrage en fonction des conditions climatiques ; par exemple, pour atteindre 23 MPa avec un béton frais à 10 °C, par vent nul et une température extérieure de 0 à 5 °C, 43 heures sont nécessaires. Pour répondre aux demandes du maître d'œuvre (23 MPa à 36 heures), Unibéton a installé deux chaudières qui permettent d'atteindre des températures de béton frais compatibles avec les résistances visées à court terme, et ceci quelles que soient les conditions météo extérieures.



6

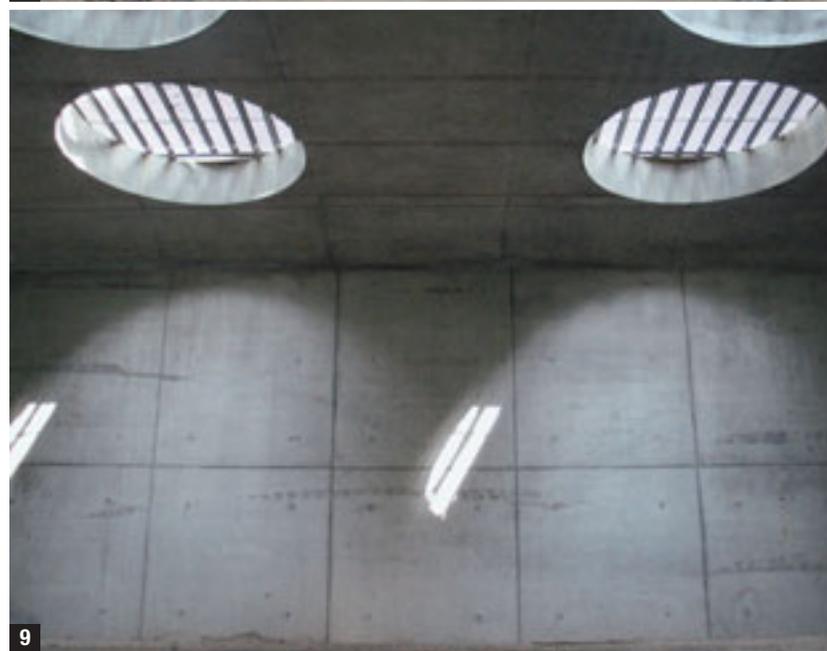


7

>>> **4 et 5** L'échangeur de la RD 106 se développe sur trois niveaux. L'autoroute passera au-dessus de la voie rapide. **6** Les piles de l'ouvrage, qui supporte le contournement de l'A11, jouent sur un béton matricé très sobre. **7** Détail de l'architecture du mur de soutènement arrondi sur la voie circulaire. **8** Les riverains des communes d'Avrillé et d'Angers apprécieront particulièrement les 1 700 m de la tranchée couverte enterrée entre 8 et 11 m de profondeur. **9** Le béton des parois de la tranchée contient des fibres polypropylène qui améliorent la tenue au feu.



8



9

tier, l'échangeur à trois niveaux sur la RD106 a imposé notamment une parfaite coordination entre les différents intervenants de par les conditions de réalisation particulières imposées. En effet, la circulation sous l'ouvrage d'art n'a pas été interrompue lors des travaux. Il s'agit d'un échangeur à 3 niveaux. Au niveau bas, est conservée la route départementale RD106 à 2 x 2 voies ; au niveau intermédiaire, se trouve un giratoire (4 bretelles d'entrée et 4 de sortie) ; l'autoroute A11, supportée par un ouvrage de 115 m de long et équipée de plusieurs écrans acoustiques, est située au niveau supérieur. Pour construire cet échangeur qui mesure 6 m de haut pour 34 m de long, l'entreprise VM Matériaux a livré 3 800 m³ de béton avec des spécifications particulières conformes aux exigences en termes de qualité et de résistance au jeune âge. ■

TEXTE: M. MEILHOC

PHOTOS: ANTOINE VAVEL

**Maître d'ouvrage
et concessionnaire :**
Cofiroute

**Maître d'œuvre
et entreprise générale :**
SCAO (société
de construction d'autoroutes
de l'Ouest),
Socaso (société de
construction d'autoroutes
du Sud et de l'Ouest)

Ouvrages d'art courants :
GTM Terrassement,
EJL Grands Travaux

Tranchée couverte :
Groupement Dodin

Viaduc sur la Maine :
Eiffage TP

Échangeur de la RD 106 :
Fougerolle-Ballot

→ Paroles d'architectes sur les écrans acoustiques

L'essor des trafics routier et ferroviaire et l'évolution de la législation contre les bruits de circulation stimulent le développement des écrans acoustiques. Les architectes se sont saisis de ce mouvement qui va sonner le glas des murs anti-bruit farfelus, posés sans discernement dans le paysage. Plus que jamais, l'heure est aux écrans acoustiques en béton à dimension architecturale et urbanistique.

Si l'on s'en tient à la définition, l'écran acoustique est une technique de protection contre le bruit généré par les axes routiers et autoroutiers et les voies de chemins de fer. Les transports sont, en effet, la première source de nuisance sonore. L'écran acoustique, par le traitement directement à la source, permet de se conformer à la réglementation en vigueur, de plus en plus exigeante. Dès 1992, une "loi bruit" était mise en application, avec pour objectif de prendre les mesures préventives et/ou correctives

nécessaires pour éviter toute nuisance sonore. Plus récemment, c'est une directive européenne qui a relancé les ambitions de l'État avec la création des "cartes de bruit", bientôt concrétisées et accessibles à tous sur Internet.

Réflexion

Force est de reconnaître que les kilomètres d'écrans acoustiques s'ajoutent dans le paysage, urbain ou même plus rural. Les initiatives du passé ayant parfois laissé de douloureux souvenirs,

ce développement des écrans pose évidemment la question de l'esthétique. Fort heureusement, la situation évolue. La réalisation des écrans est aujourd'hui confiée à des équipes pluridisciplinaires spécialisées.

"On voit apparaître des écrans qui s'inscrivent dans une réflexion paysagère globale, relève Édouard Colombani, architecte à Quinsac (33). C'est une bonne évolution." "Faire un mur paraît simple et c'est une erreur de le croire, enchaîne Patrick Duguet, architecte-conseil au ministère de l'Écologie,

du Développement et de l'Aménagement durables*. Ce n'est vrai ni pour un mur de soutènement ni pour un mur acoustique, car ces grandes ruptures sont l'occasion potentielle de faire beaucoup d'erreurs." Pour Marc Salomon, architecte à Paris, ces ruptures sont même la grande difficulté à résoudre. Il faut éviter les effets de coupure urbaine, rompre avec ces écrans posés comme des annexes de l'infrastructure, avec ces gestes farfelus et gratuits qui s'imposent sans aucun souci de cohérence. "C'était le cas il y a une vingtaine d'années, quand on ne se souciait pas encore de l'intégration des ouvrages." Les enjeux sont bien l'infrastructure d'un côté, le territoire de l'autre. "Le concepteur travaille sur la texture mais surtout sur les éléments existants, c'est-à-dire la ville mais aussi les ponts, la chaussée, les glissières de sécurité. Il faut faire en sorte que l'écran acoustique s'intègre dans ce tout", estime encore Marc Salomon.

L'écran acoustique, c'est sa spécificité, a deux échelles : celle de l'architecture et

*Patrick Duguet a reçu le prix "protection phonique" pour les espaces latéraux du boulevard intercommunal du Parisis, dans le Val-d'Oise.



1



2



3

>>>> **1 Marandini** – Écran acoustique en béton matricé. Agence Strates architectes. **2 RN 20 sud** – Écran acoustique en béton de bois. Agence Strates architectes. **3 Autoroute A4, entre le pont de Nogent et Champigny** – Parements et écrans en béton de bois absorbant, nouvellement créés ou installés sur des ouvrages existants. Cabinet Salomon Voisin architectes.

celle du paysage. Pour certains, comme Hervé Vadon, architecte de l'agence Strates, ce caractère "biface" est une source de créativité : deux côtés, deux fonctions, deux esthétiques. "La perception du riverain est très différente de celle de l'automobiliste ou du passager du train, explique l'architecte lyonnais.

Côté route ou voie ferrée, on va privilégier une lecture cinématique en valorisant la forme, la texture, la couleur, sans trop se soucier du détail. Côté riverains, au contraire, c'est le détail qui sera privilégié. On peut même imaginer une face arrière personnalisée en fonction des attentes du riverain concerné. Et ajouter

au besoin des transparences si l'opacité de l'écran le gêne. "Le principe de la concertation avec les riverains entre peu à peu dans les mœurs", se félicite Hervé Vadon. On peut ainsi démêler des situations conflictuelles, comme à Pessac, près de Bordeaux, où Edouard Colombani devait résoudre un problème d'échelle. "Il fallait définir un principe directeur." L'architecte a tracé de grandes courbes qui ont permis d'atténuer la césure dans la ville. "Les riverains doivent pouvoir se dire que l'on a pensé à eux", conclut Edouard Colombani.

si ce n'est pas une règle absolue. Le choix dépend avant tout de l'esprit du projet, et le maître d'ouvrage dispose de budgets rarement extensibles. "Les maîtres d'ouvrage rechignent en général à la nouveauté, par peur le plus souvent d'un coût élevé", poursuit Jean-Bernard Nappi. Il faut les convaincre que la réalisation d'une matrice permet d'apporter une "signature" au projet. L'idée est d'apporter du neuf, en prenant en considération l'autre côté du mur. La matrice peut effectivement coûter cher, mais la reproductibilité du motif et son caractère réutilisable permettent de compenser l'investissement. L'idéal cependant, est de choisir un motif simple. "À ce titre, la phase d'essais chez le préfabricant est primordiale, poursuit Jean-Bernard Nappi. Il y a là un côté artisanal qui ne doit pas disparaître." Le matriçage a beaucoup évolué, d'où une grande variété d'aspects pour les écrans en béton. Une matrice spéciale peut être créée pour personnaliser le projet. Si le chantier est de grandes dimensions, le coût de la matrice sera facilement amorti. "Il faut aussi savoir proposer une solution qui ne soit pas identique à celle du chantier voisin", relève encore l'archi-

technique

Le principe des écrans absorbants en béton

Un écran absorbant est constitué de deux types d'éléments :

Les éléments structuraux : leur fonction est de soutenir ou de maintenir en place les éléments acoustiques. Ces panneaux en béton sont glissés entre des poteaux ancrés, soit sur des fondations superficielles, soit sur des fondations sur pieux selon les caractéristiques géotechniques des sols en place.

Les éléments acoustiques : en béton absorbant, leur fonction est d'apporter la performance acoustique du dispositif.

Les bétons des éléments structuraux ont les mêmes compositions et propriétés que les bétons réfléchissants. En revanche, les bétons absorbants sont constitués de matériaux à forte porosité qui offrent des surfaces de frottement permettant de transformer et de dissiper l'énergie sonore, et par conséquent d'amortir les bruits. Leur rendement en absorption est fonction de la surface développée offerte au contact de l'onde sonore et de la porosité du matériau, des textures de surface, de la forme et du type de matériau utilisé : béton de bois, béton de pouzzolane et d'argile.

Esthétique

Intégration ou geste architectural ? Discretion ou affirmation ? C'est selon. La question n'est pas tant la préférence esthétique que le contexte. C'est un fait acquis pour Jean-Bernard Nappi, architecte paysagiste chez Scetauroute : "Si on sent que le patrimoine l'impose, on s'efforce de jouer la discrétion. Si le contexte est moins clair, on peut se permettre d'être plus visible dans le paysage." Une tendance se dessine pourtant, qui veut que le béton soit plus souvent retenu en milieu urbain, même



« Le principe de la concertation avec les riverains entre peu à peu dans les mœurs »

4 Nice – Écran absorbant en béton matricé à motif "minéral". Agence Strates architectes. 5 Boulevard intercommunal du Parisis – Mieux qu'un "simple" écran acoustique, la solution préconisée par Patrick Dugué, architecte, fait appel à une plate-forme végétalisée lancée au-dessus de la chaussée.



tecte paysagiste de Scetauroute. En ce sens, une collaboration étroite avec les industriels de la préfabrication est un moyen d'aboutir à des créations originales. "J'ai pu créer des moules originaux, confirme Edouard Colombani. On voit aussi des systèmes à base de panneaux entièrement végétalisables." Cette option est plus difficile à faire accepter, compte-tenu de son coût.

La spécificité de l'ouvrage n'empêche pas l'unité. Il peut même se révéler intéressant d'envisager une cohérence entre des écrans situés à proximité les uns des autres. "Nous essayons de ne pas multiplier les couleurs", précise Jean-Bernard Nappi. Dans tous les cas, il faut refuser l'acte gratuit, éviter le clinquant, et être modeste en sachant qu'une partie significative du budget passe en achat de terrains pour implanter l'écran...

Technique

L'écran acoustique absorbant est constitué d'une structure, d'une paroi (généralement côté riverains) et d'un matériau absorbant côté route. Il existe d'une part les écrans absorbants, les plus employés désormais, classés en quatre catégories (A1, A2, A3, A4, du moins absorbant au

plus performant), d'autre part les écrans réfléchissants. Ces derniers sont utilisés face à une vallée, par exemple, où la réverbération de l'onde sonore est sans conséquence. Certains écrans peuvent être absorbants sur les deux faces, s'il existe une source sonore des deux côtés de la paroi. Selon la configuration du site, l'écran acoustique permet des gains de l'ordre de 10 à 15 dB(A).

Dans le cas d'une voie routière à grande circulation, l'écran se situe la plupart du temps légèrement en retrait mais aussi, parfois, sur la glissière en béton (GBA). Dans ce cas, l'architecte devra composer avec l'exiguïté de l'espace... et l'impossibilité de végétaliser côté route. Dans toutes les circonstances, il faudra encore envisager la récupération des eaux pluviales, et garder à l'esprit que l'écran va influencer sur l'éclairage des terrains situés à proximité.

Matériau

"Quoi qu'il arrive, on se situe en bordure de route, donc en territoire délaissé par la collectivité locale maître d'ouvrage, constate Jean-Bernard Nappi. C'est là que les industriels jouent un rôle important en proposant une palette adaptable

en fonction des moyens." Les possibilités offertes par le matériau béton, en ce sens, sont décisives. "La gamme des possibles permet de tirer le projet vers le haut, confirme Edouard Colombani. L'offre s'élargit en continu et cela tombe bien parce que la chasse au bruit se systématisse : la diversité de l'offre est donc une garantie contre l'uniformité des bords de routes." Il est assez monotone, en effet, de circuler dans un tube constitué par la chaussée et deux parois latérales sans imagination. La tâche du concepteur va constituer à créer des plans, à alterner les rythmes. L'expérience montre qu'il est important de ne pas couper complètement l'usager du contexte extérieur à la chaussée. "Nous essayons par exemple de matérialiser les franchissements", précise Jean-Bernard Nappi. L'écran se modifie pour annoncer le changement de relief. "L'avantage du béton tient à ce que l'on peut lui donner n'importe quelle forme, estime Marc Salomon. On jouera alors sur le calepinage pour apporter de l'inventivité." La variété des teintes est un autre atout : "Le concepteur a plaisir à utiliser des ocres, par exemple."

Conséquence, peut-être, d'un passé qui les a posés dans le paysage sans discerne-

ment, les écrans acoustiques souffrent d'un mal endémique : le tagage. Les architectes ont encore du mal à contrer la difficulté et la nouvelle parade vraiment efficace à l'heure actuelle est celle du treillis placé à une trentaine de centimètres de l'écran. La technique n'est pas sans contribuer à l'esthétique de l'ouvrage, le plus souvent : même sans végétation, l'écran donne un aspect fini, d'autant que le conducteur ne distingue pas le treillis.

Durabilité

Dans tous les cas, le devenir de l'écran est un facteur important. Le béton ne manque pas d'arguments. La patine du temps peut valoriser son aspect, comme la végétalisation qui gagne du terrain au fil des années et tend à fondre le mur dans son environnement végétal. Encore faut-il choisir les plantes avec discernement. Car les plantes caduques perdront de leur superbe en hiver, quant au lierre, il finira par endommager la structure. Autant d'arguments qui plaident en faveur d'une réflexion menée très en amont, comme il sied à toute création architecturale... ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : DR

« Les industriels de la préfabrication jouent un rôle important en proposant une palette adaptable en fonction des moyens. »



5



6

»»» **5 À Corbeil-Essonnes (Tarterêts), sur la Francilienne, entre les autoroutes A6 et A5** – Un projet de plusieurs milliers de mètres carrés, réalisé en deux phases, dont la seconde est en cours. D'un type spécifique pour chaque phase, les écrans absorbants partagent une horizontalité affirmée, avec des filantes marquées par un joint creux. Noter le grillage prévu pour la végétalisation, qui se montre également efficace contre les tags. Cabinet Salomon Voisin architectes. **6 Autoroute A64, Roquefort-sur-Garonne** – Écran absorbant en béton de bois, rythmé par des "tourselles" en béton. Un jalonnement de cyprès longe l'autoroute, et l'écran encadre la zone à protéger comme un rempart. Edouard Colombani, architecte.

→ Un chantier grandeur nature fait école

Au lycée Caraminot d'Égletons, la pratique rejoint vite la théorie. Illustration avec le dernier chantier confié à la promotion des techniciens supérieurs en travaux publics : un ouvrage hydraulique au lieu-dit "la Femme morte".



➤➤➤ Les élèves de la classe de BTS travaux publics 2^e année, qui ont réalisé les travaux de l'ouvrage hydraulique, accompagnés de leurs professeurs Claude Genier et Alain Meilhac.

Un millier de personnes – élèves, professeurs, personnel administratif et technique – constitue la population du lycée Pierre-Caraminot d'Égletons, en Corrèze (19). L'établissement, qui forme quelque 750 lycéens et étudiants aux techniques de génie mécanique et BTP, est renommé pour l'efficacité de sa formation. L'expérimentation en conditions réelles est

d'ailleurs la règle au lycée Pierre-Caraminot, créé en 1933. Témoin, ces dernières années, l'ouvrage hydraulique du contournement d'Égletons, l'aménagement des abords d'un bâtiment du lycée, un aménagement urbain dans la commune, tous réalisés par les promotions de techniciens supérieurs en TP. Dans tous les cas, les jeunes maîtres d'œuvre se retrouvent aux prises avec les réalités d'un chantier : dialogue avec les différents intervenants, direction d'une équipe, exécution des rapports journaliers, etc.

Au secours des truites fario, poissons migrateurs

Le dernier chantier en date s'est tenu au lieu-dit "la Femme morte", à l'extrémité du territoire de Champagnac-la-Noaille, village situé à quelques kilo-

mètres d'Égletons. L'endroit est paisible et pourtant le ruisseau qui y coule est d'un tempérament impétueux. Ses crues sont tout simplement torrentielles. Sous un chemin d'accès à usage agricole, deux buses en béton guident les eaux du ruisseau. Plutôt, elles tentent de les guider car les ouvrages sont saturés tous les ans, et les prairies en amont, inondées. La faune elle-même en pâtit. Les truites fario en migration vers leur lieu de reproduction ont bien du mal à remonter les buses. La situation est d'autant plus gênante que le ruisseau est classé au Code de l'environnement pour la protection des poissons migrateurs. En toute logique, la communauté de communes de Ventadour confie la reconstruction de l'ouvrage hydraulique aux élèves techniciens supérieurs du lycée Caraminot.

Les élèves se mettent à la tâche. Les attendus sont clairs : les truites doivent franchir la passe quel que soit le débit du ruisseau, et le courant ne doit pas être trop rapide. On effectue des relevés, on dessine des plans, on rédige le dossier technique, on consulte des entreprises. En novembre 2005, les études de faisabilité sont terminées. Une numérisation de l'ouvrage en 3D est effectuée en janvier. L'accord de la communauté de communes est obtenu en mars et en mai 2006 les travaux sont scindés en trois lots : démolition et terrassements des berges et des bassins ; construction de l'ouvrage hydraulique ; réfection de la chaussée.

Les appels d'offres sont rédigés dans la foulée, les entreprises consultées durant

l'été. Les travaux commencent à la rentrée de septembre 2006. Les élèves qui les réalisent se répartissent en deux groupes pilotés par leurs deux professeurs en génie civil, Claude Genier et Alain Meilhac. Le chantier durera dix semaines, au long desquelles les élèves couleront le radier, avant coffrage des deux piédroits. Ils poseront ensuite les prédalles, préfabriquées préalablement au sein même de l'établissement.

Du virtuel au réel

Outre les apprentissages techniques du futur métier de responsable de chantier, les élèves ont eu l'occasion de tester leurs connaissances administratives : suivi du chantier, direction d'équipe, rapports journaliers, bons de commande... Le pont-cadre et ses bassins ont été livrés fin octobre 2006 et la mise en eau s'est effectuée avec succès. Une première réussite, donc, pour ces étudiants qui ont pu se familiariser très tôt avec les réalités du chantier... et la mise en œuvre du matériau béton. ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTO : DR

chiffes clés

- Proviseur du lycée Pierre-Caraminot : **Jean-Paul Lamorille**
- Effectif : **750 élèves, 105 enseignants dont 35 en génie civil**
- Formations : **bâtiment et travaux publics (BTP), génie mécanique**

Maître d'ouvrage et maître d'œuvre :
communauté de communes de Ventadour

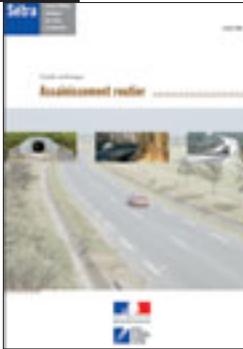
Maître d'œuvre associé :
lycée Caraminot (Égletons)

Assistance technique :
Conseil supérieur de la pêche (Clermont-Ferrand)

Bureau d'études structure :
ATI (Brive)

Entreprises :
Lot 1 et 3 : Marut-Lapleau
Lot 2 : Lycée Caraminot

livres

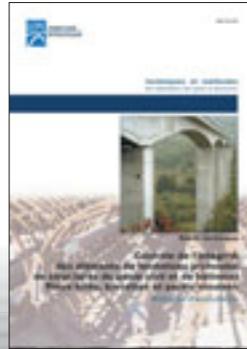


→ Assainissement routier

Validation technique
par Yves Guidoux

Ce guide technique sur l'assainissement routier propose une démarche méthodologique pour la conception technique des ouvrages au niveau des écoulements naturels, de l'assainissement de la plate-forme et du drainage interne. Il s'adresse aux maîtres d'œuvre, aux maîtres d'ouvrage et aux bureaux d'études concernés par la conception des ouvrages d'assainissement pour les projets routiers. Il a été réalisé par un groupe de travail constitué par des représentants du Réseau scientifique et technique du ministère de l'Équipement et de bureaux d'études.

Éditions du Setra,
92 pages, 19 euros,
www.setra.equipement.gouv.fr



→ Contrôle de l'intégrité des éléments de fondations profondes de structures de génie civil et de bâtiment : Pieux forés, barrettes et parois moulées

Ce guide technique s'adresse aux maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, aux entreprises et à tous les acteurs participant à la réalisation de fondations profondes. Il a pour but de définir les dispositions à prendre, préalablement et pendant l'exécution des fondations profondes et de préciser les méthodes d'auscultation permettant de vérifier l'intégrité du béton.

Éditions Laboratoire central des Ponts-et-Chaussées, 50 pages, 30 euros, www.lcpc.fr



→ CONSEC'07

Actes de la 5^e conférence internationale sur les structures en béton sous conditions extrêmes d'environnement et de chargement

Sous la direction de François Toutlemonde

Le fonctionnement réel des structures en béton existantes, spécialement sous conditions environnementales extrêmes, sous chargement accidentel sévère, ou au terme d'un service de longue durée, montre la nécessité de mieux intégrer dans la conception les objectifs de durabilité et de robustesse structurale. En ce sens, les nombreuses avancées scientifiques et techniques présentées à la 5^e conférence internationale constituent un jalon sûr pour construire en béton dans le respect du développement durable.

Éditions Laboratoire central des Ponts-et-Chaussées, vol. 1 et 2, cédérom, 230 euros



→ Coup de shampooing sur le développement durable

Dominique Bidou

Il s'agit du recueil des 80 premiers billets que Dominique Bidou publie sur son blog consacré au développement durable. Partant du quotidien, il pense que chaque chose de la vie, chaque événement, chaque objet peut être examiné à l'aune du développement durable et nous en révéler le sens. Dominique Bidou, qui rappelle le, est président du CIDB (Centre d'information et de documentation sur le bruit), invite chacun à participer à sa démarche, notamment en intervenant sur son blog.

Éditions Ibis Presse, 212 pages, 18 euros, www.ibispress.com

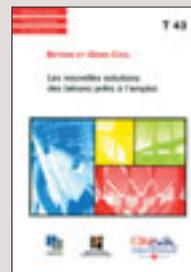
publications techniques Cimbéton



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

Engagée dans une politique environnementale active, l'industrie du béton répond aux attentes du marché avec une large gamme d'écrans acoustiques décrits dans ce guide. ■

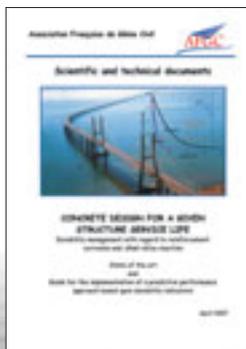
Référence T45, 104 pages, gratuit.



Bétons et génie civil
Les nouvelles solutions des bétons prêts à l'emploi

Légèreté, résistance, pérennité, technicité : le développement des nouveaux bétons prêts à l'emploi permet de répondre à toutes les contraintes techniques et esthétiques des architectes. ■

Référence T43, 64 pages, gratuit.



→ **Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages**

Sous la direction de **Véronique Baroghel Bouny**

Ce document vise à une meilleure connaissance des propriétés relatives à la durabilité du béton armé et de ses constituants, et à la mise en place de moyens pour maîtriser cette durabilité. Il décrit l'état de l'art et propose une méthodologie pour la mise en œuvre d'une démarche globale et prédictive de la durabilité des structures en béton armé, basée sur la notion d'indicateurs de durabilité et combinant mesures en laboratoire et codes de calcul. Deux types de dégradation sont considérés, la corrosion des armatures et l'alcali-réaction.

Éditions AFGC, 252 pages, 40 euros, afgc@enpc.fr

.....



→ **Deux siècles d'entreprise générale et de progrès dans la construction**

Xavier Bezançon, Daniel Devillebichot et Nagy Guersendre

Peu de pays ont autant contribué que la France à l'histoire technologique de la construction. Très richement illustré, l'ouvrage retrace cette longue et passionnante histoire depuis le XIX^e siècle et la naissance du matériau béton. Mais c'est au XX^e siècle que les entreprises françaises prennent leur essor, et la très jeune histoire du béton gagne rapidement ses lettres de noblesse avec les brillantes inventions d'Eugène Freyssinet. Depuis lors, les entreprises françaises ne cesseront de s'illustrer par des projets exceptionnels.

Timée Éditions, 288 pages, 38 euros, 66, rue Escudier, 92100 Boulogne-Billancourt

.....



→ **Béton et maçonnerie : Traitement des fissures par injection**

Le syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement des structures (STRRES) a mis en ligne le guide n°3 de la collection « Béton et maçonnerie ».

Dans ce guide, qui s'adresse à la fois au maître d'œuvre et à l'entrepreneur, sont décrits : les définitions des termes et des techniques ; la préparation de l'opération ; le choix des produits et matériaux ; les matériels à utiliser et les modes opératoires ; les essais et contrôles à effectuer ; les principales règles d'hygiène, de sécurité et de respect de l'environnement ; le plan d'assurance de la qualité ; la normalisation et les documents de référence.

Téléchargeable sur le site du STRRES, www.strres.org

.....

agenda

→ **Amsterdam International fib Symposium 2008**

Du 19 au 22 mai 2008

"Tailor made concrete structures"

Site officiel du symposium :

www.fib2008amsterdam.nl

→ **Monaco International Congress**

Association française des tunnels et de l'espace souterrain (AFTES)

Du 6 au 8 octobre 2008

"Le souterrain : espace d'avenir"

E-mail : afies@sncf.fr



Un écran acoustique sur l'A13 (78) conçu par Michel Regembal.