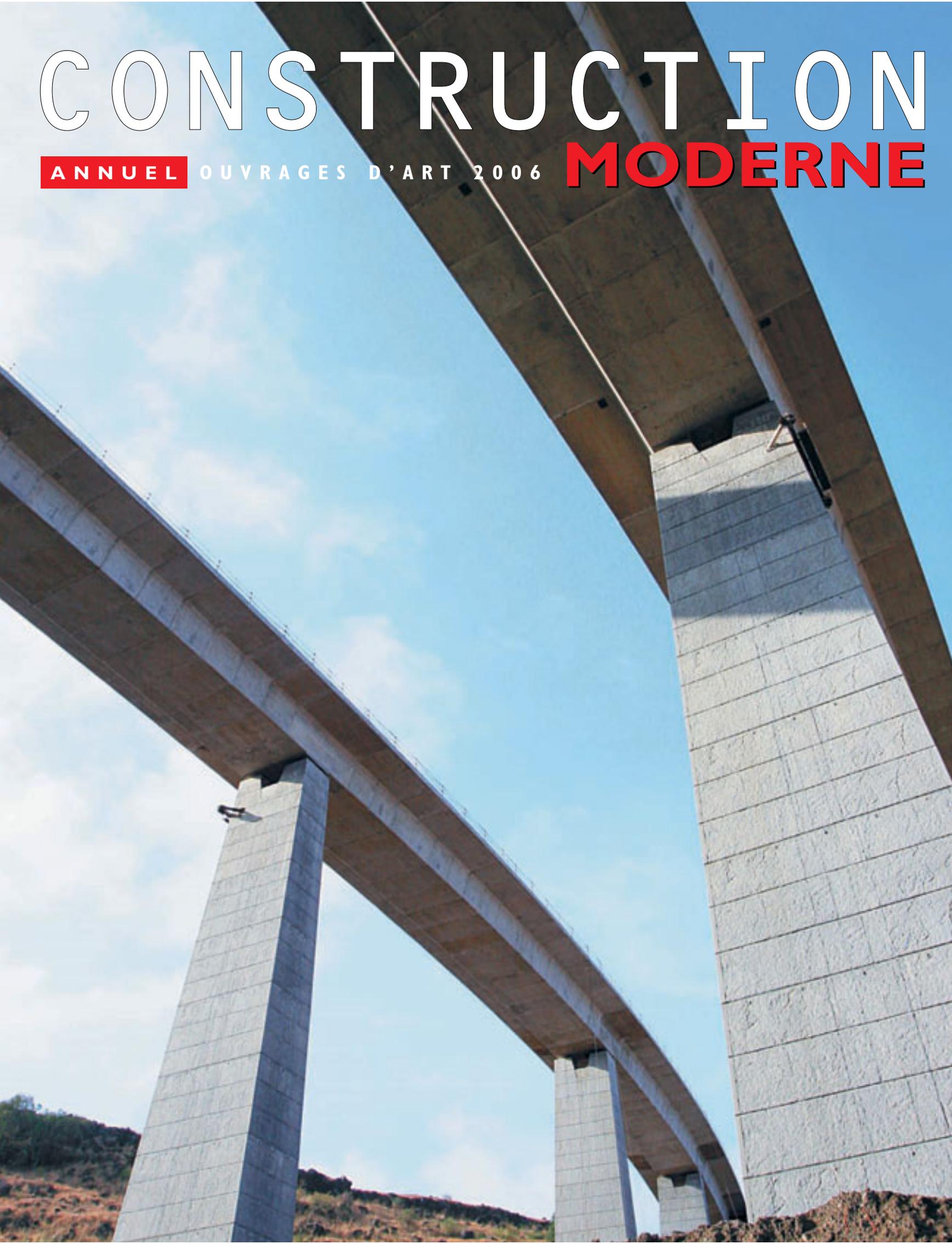


# CONSTRUCTION

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2006

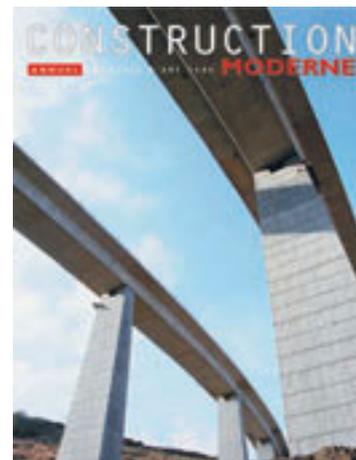
**MODERNE**



# éditorial

L'art de construire procède en particulier de la bonne utilisation des matériaux. Mais il ne peut y avoir de bon usage s'il n'y a pas une bonne connaissance des matériaux. Celle du béton devrait nous être acquise puisque nous l'utilisons depuis plus de 2 000 ans. C'est de plus en plus vrai, mais ce matériau ne cesse d'évoluer. Aujourd'hui, le béton fait l'objet de nombreuses recherches et innovations donnant lieu à des créations dont l'usage est très varié. Ainsi réalise-t-on des bétons légers, lourds, à hautes performances, fibrés, autoplaçants, résistants au gel... Plutôt caché à l'origine du fait de sa rusticité, le béton a fini par être exposé. Il a ainsi acquis, au fil du temps, ses lettres de noblesse au point qu'il peut être aussi mis en scène sous forme de mobilier et d'objets de décoration. Le béton vient de la nature et retourne à la nature, il fait partie de notre environnement. Considérons-le avec respect et apprenons à bien l'utiliser. Il n'a pas fini de nous surprendre.

JEAN-MARC TANIS, président de l'AFGC,  
Association française de génie civil



## >> Couverture

Viaduc de Bras-Boucan-Canot à La Réunion.

Photo: Régis Bouchu/Actophoto.

# CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

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

E-mail : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)  
internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Anne Bernard-Gély • DIRECTEUR DE LA RÉDACTION : Roland Dallemagne • CONSEILLERS TECHNIQUES : Stéphane Delâtre, Patrick Guiraud, Serge Horvath, François L'Huilier • CONCEPTION, RÉDACTION ET RÉALISATION : L'AGENCE PARUTION 41, rue Greneta - 75002 Paris • RÉDACTEUR EN CHEF : Norbert Laurent • RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE : Maryse Mondain • SECRÉTAIRE DE RÉDACTION : Philippe François • MAQUETTISTE : Sylvie Conchon • DESSINS TECHNIQUES ET PLANS : Fabrice Mathé • Pour tout renseignement concernant la rédaction, tél. : 01 53 00 74 13 • La revue *Construction moderne* est consultable sur [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) • Pour les abonnements : fax au 01 55 23 01 10 ou un e-mail à [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)

## Sommaire • Numéro annuel ouvrages d'art • édition 2006



>> PAGE 01 > Rouen (76)  
Un pont levant pour la cité rouennaise



>> PAGE 06 > La Colagne (48)  
Le béton à l'épreuve du froid



>> PAGE 08 > La Réunion  
La route des défis



>> PAGE 15 > Éléments préfabriqués en béton pour le génie civil



>> PAGE 23 > LGV Perpignan-Figueras  
Vers les Pyrénées à grande vitesse



>> PAGE 28 > Tanger (Maroc)  
Une digue s'élançait entre mer et océan



>> PAGE 30 > Rueil-Versailles (78)  
Un tube double étage



>> PAGE 34 > Têtes de tunnel ou entrées des artistes



# Un pont levant pour la cité rouennaise

>>> LE PRINCIPE D'UN SIXIÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN A ÉTÉ ADOPTÉ DE LONGUE DATE.

L'OUVRAGE, QUI VOIT AUJOURD'HUI LE JOUR DANS LES QUARTIERS OUEST DE ROUEN, SE DESSINE SOUS LA FORME

D'UN PONT LEVANT DE 120 M DE PORTÉE ET 55 M DE TIRANT D'AIR. ALLIANT UNE ARCHITECTURE LÉGÈRE

ET ÉLÉGANTE À UNE TECHNICITÉ EXCEPTIONNELLE, IL RÉUSSIT BRILLAMMENT SON INTÉGRATION DANS LE PAYSAGE

ROUENNAIS. CE PONT LEVANT, LE PLUS GRAND DE FRANCE, A D'AILLEURS ÉTÉ RÉCOMPENSÉ PAR UNE MENTION

SPÉCIALE AU GRAND PRIX DE L'INGÉNIERIE 2006.



1



2

Le sixième pont sur la Seine n'a pas pour unique vocation de faciliter les déplacements dans l'agglomération rouennaise. Il est aussi le symbole d'un nouveau rapport entre la ville et son port. Le trafic entre les deux rives avoisine les 100 000 véhicules par jour. Aujourd'hui, faute de liaison directe, les véhicules empruntent des voies situées au cœur de la ville, privant celles-ci de leur véritable fonction urbaine. La mise en place de cette liaison facilitera la traversée par l'ouest et permettra le raccordement de

l'autoroute A13 au sud avec l'autoroute A150 au nord vers Dieppe et Le Havre, tout en aidant au développement des quartiers ouest de Rouen.

### Trois possibilités, trois solutions envisagées

L'ensemble des solutions possibles a été envisagé : tunnel, pont fixe à gabarit maritime, pont levant. Le pont levant a été retenu, afin de conserver le gabarit maritime tout en préservant l'environnement. Suite à un concours de maîtrise d'œuvre, s'est imposée la proposition du groupement de concepteurs Arcadis, Michel Virlogeux (concepteur du pont de Normandie), Aymeric Zublena (architecte du Stade de France), Eurodim et Serf. L'ouvrage revêt un caractère exceptionnel par ses dimensions et ses caractéristiques techniques. Il culminera en effet à 86 m au-dessus des quais de la Seine et libérera un gabarit maritime de 55 m et un gabarit fluvial de 7 m de hauteur sur une portée biaise de 100 m. La longueur totale de l'ouvrage, viaducs d'accès compris, est de 670 m. Le pont est équipé d'une travée centrale constituée de deux travées indépendantes, qui se soulèvent horizontalement au-dessus

du niveau de la Seine pour permettre l'accès au cœur de la ville des bateaux de grande taille, des navires de la Marine nationale et des grands voiliers de l'Armada. Cette solution présente l'avantage de préserver les activités fluviales et portuaires. Mais le problème majeur était l'impact des tours de levage sur le site de la ville de Rouen. Les concepteurs, attentifs à l'empreinte de l'ouvrage dans le paysage, ont donc cherché à réduire autant que possible le volume du système de tours.

### Une réalisation complexe

La construction de l'ouvrage a été confiée au groupement Quille-Eiffage-Eiffel-Buyck en 2004, avec une livraison fixée à décembre 2006. Ce pont est une réalisation exemplaire, complexe de par ses particularités techniques et ses contraintes architecturales. Les travaux comprennent la réalisation des deux

tours de levage implantées dans la Seine, reposant chacune sur un socle de section elliptique de 35 x 20 m fondé sur 18 pieux de 1,8 m de diamètre qui reprennent une charge de 15 000 t.

Chaque tour est constituée de deux fûts oblongs en béton de 70 m de haut, couronnés chacun par une charpente métallique en "papillon". Quatre gabions de 20 m de diamètre et de 16 m de hauteur remplis de tout-venant protégeront les piles en cas de choc avec un bateau. Deux tabliers à travées levantes métalliques (poutres caissons de 120 x 17 m) en dalle orthotrope, suspendus à un ensemble de câbles et de poulies situé au sommet des pylônes en béton, complètent l'ensemble.

La construction des socles fut l'opération la plus sophistiquée. Ces socles, qui abriteront à terme les mécanismes de levage, ont été mis en œuvre par dévérinage, tout comme les gabions. La technique consiste à construire chaque

>>> **1** Les fondations du gabion amont. **2** La construction des socles, destinés à abriter les mécanismes de levage, fut l'opération la plus complexe. Dix-huit pieux bétonnés au fond de la Seine assurent les fondations.

**3** Les gabions de 20 m de diamètre et 16 m de hauteur protégeront l'ouvrage en cas de choc avec un bateau. **4** La qualité architecturale de cet ouvrage exigeait une qualité et une régularité maximales pour les parements en béton de teinte gris clair.

### chiffes clés

- Portée entre appareils d'appui : **117 m**
- Pylônes de **66,30 m** de hauteur de forme elliptique
- Papillons de **16,10 m** de hauteur pour un poids de **525 t**
- Fondations des socles : **36 pieux de diamètre 1 800**
- Béton : **21 000 m<sup>3</sup>**
- Armatures : **3 000 t**
- Aciers pour travées levantes : **2 230 t**
- Aciers pour papillons : **365 t**
- Gabarit fluvial : **7 x 70 m**
- Gabarit maritime : **55 x 86 m**



3

4

structure, les deux socles et les quatre gabions, au sommet des pieux préalablement forés, au-dessus de l'eau, par assemblage d'éléments préfabriqués en béton. Puis on descend la structure pré-assemblée au moyen d'un système de dévérinage synchronisé. Il a d'abord fallu forer 18 pieux de 1,80 m de diamètre et de 20 m de profondeur, pour les bétonner ensuite dans le fond de la Seine. Le socle ovale de 35x20 m a alors été construit au-dessus de l'eau, sur ces fondations. Puis il a été descendu au fond du fleuve en glissant le long des tubes. Les deux piles fixes, sur lesquelles reposeront les travées levantes, ont été construites sur le dessus du socle.

### La difficile étape de la construction des pylônes

Intervient ensuite la construction des pylônes à l'aide de coffrages grimpants. En août 2006, les papillons métalliques, amenés par voie maritime et fluviale, ont été posés. Les pylônes soutiendront le tablier du pont en phase de levage. L'ouvrage en phase de service repose sur des piles posées sur le socle. Les pylônes doivent répondre à trois objectifs : être de teinte claire et uniforme,

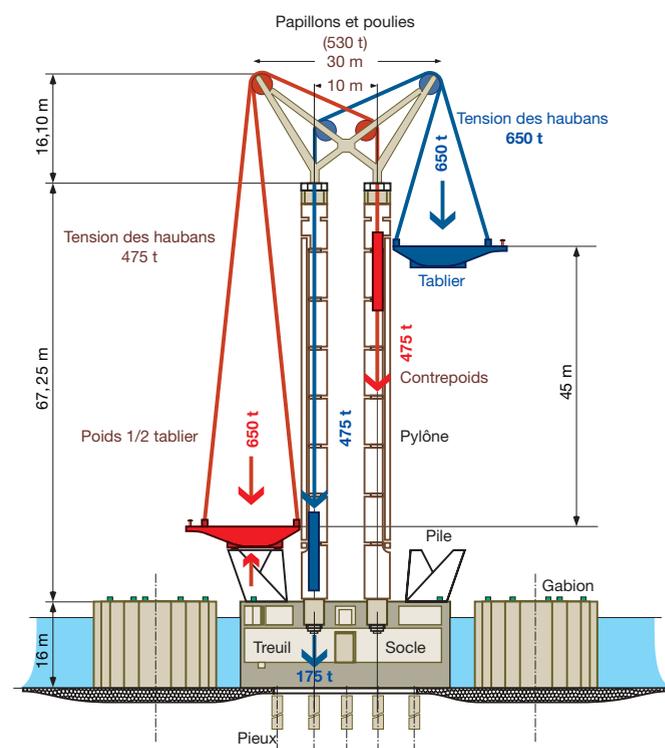
#### >>> Le système de levage

*Le système de levage, très simple, est à câbles et à contrepoids.*

*Il permet de lever facilement une charge très lourde (1 300 t) sur une course longue (près de 50 m) en 12 minutes. Chaque tablier est suspendu par deux séries de câbles inclinés, ancrés de part et d'autre de la chaussée.*

*Le poids de chaque travée est en grande partie équilibré par des contrepoids de 475 tonnes logés dans les fûts des tours. Ces contrepoids ne sont pas bloqués lorsque la travée est descendue.*

*Ils équilibrent donc en permanence la plus grande partie du poids de la travée, ne la laissant reposer sur ses appuis qu'avec un poids apparent de 350 t. Pour le levage, des treuils, situés dans le socle, assurent l'effort complémentaire pour soulever le tablier. La transmission entre les treuils et le tablier s'effectue par les câbles qui remontent vers la tête de pylône,*



*sont déviés par les blocs poulies des "papillons" et redescendent vers le tablier. Pendant le levage, les contrepoids se translatent à l'intérieur des pylônes. Le tablier est guidé par un chariot roulant dans une rainure latérale le long*

*de chacune des tours, évitant ainsi tout déplacement horizontal. Chaque tablier peut être levé séparément. On peut également le bloquer à n'importe quel niveau, en fonction de la taille du bateau.*



5



6



7

>>> **5** Hauts de 86 mètres, les quatre pylônes dépassent d'un mètre la tour des Archives ! **6** Ces pylônes comprennent quatre fûts cylindriques en béton armé. La section d'un fût est de 4,35 m de largeur, de 9,50 m de longueur et de 0,35 m d'épaisseur. **7** Vue des pylônes rive gauche avec le "papillon" posé au sommet des piles. **8** Détail d'un "papillon" (400 tonnes et 32 poulies) et de ses câbles de levage.

## technique

### Des bétons "sur mesure"

La teinte du béton des pylônes était de première importance pour la qualité architecturale de cet ouvrage. Le cahier des charges soumis à l'entreprise exigeait une teinte gris clair et une qualité et une régularité maximales des parements. Les fûts verticaux des tours sont donc en béton gris clair, évoquant ainsi le surgissement du calcaire des sols géologiques du Bassin parisien qui traverse la Seine. "Le choix des matériaux exprime les options structurelles et symboliques", complète l'architecte.

Pour répondre à l'ensemble des attentes – teinte et qualité de parement –, l'entreprise a travaillé d'une part sur la conception des outils coffrants, et d'autre part sur le béton et les procédures de mise en œuvre. Concernant les coffrages, des outils coffrants grimpants métalliques sans tiges traversantes, constitués de deux demi-coquilles extérieures, ont permis de réaliser le pylône par levées successives de 4 m. Pour le béton, plusieurs formulations ont été testées. Leurs principales performances sont une résistance caractéristique à 28 jours de 40 MPa ; une bonne maniabilité avec une valeur au cône de l'ordre de 20 grâce à l'utilisation d'un superplastifiant ; une valeur d'E/C inférieure à 0,45 ; l'utilisation d'un ciment présentant un indice de clarté élevé. Le choix de l'architecte et du maître d'œuvre s'est porté sur un béton de classe de résistance C40/50 formulé avec un CEM III/A 42,5 N CE PM-ES-CP1 NF dosé à 400 kg/m<sup>3</sup>. Il a ensuite fallu valider l'adéquation de la formulation avec les outils coffrants et les méthodes de mise en œuvre des bétons. Pour ce faire, l'entreprise a réalisé un élément témoin de pylône constitué de deux levées de 4 m.

offrir une tolérance de verticalité inférieure à 10 mm, et le coffrage doit progresser à raison d'un cycle de deux levées tous les deux jours.

La formulation du béton, extrêmement pointue, a été mise au point par la direction technique de Quille. Afin d'optimiser la cinétique de prise et de durcissement du béton exigée par le respect du cycle de progression du coffrage, le chantier a fait appel à la technique de la "maturométrie". Les coffrages étaient également isolés par flocage et chauffés.

### Des lasers de visée pour garantir la verticalité

Pour assurer le levage, la construction devait accorder un soin particulier au respect des tolérances géométriques. Les pylônes sont donc érigés avec une parfaite verticalité grâce, en particulier, à l'utilisation de lasers de visée verticale.

L'ouvrage a également fait l'objet d'une étude au vent très complexe. Des études climatologiques ont permis de détermi-

ner les caractéristiques précises du vent sur le site. Des essais en soufflerie sur maquette ont permis de valider, entre autres, le choix de la section du tablier, le comportement de l'ouvrage et l'influence d'un tablier sur son jumeau en fonction de la direction du vent. Ont aussi été étudiés les effets du décalage de hauteur entre les deux tabliers pendant les manœuvres de levage, tandis que l'on définissait des systèmes d'amortisseurs permettant d'éliminer les risques de vibration.

Preuve supplémentaire de sa haute technicité et de sa parfaite intégration dans le site, l'ouvrage a été récompensé par une mention spéciale au Grand Prix national de l'Ingénierie décerné par le ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, en partenariat avec la Fédération professionnelle de l'ingénierie. ■

TEXTE : MARTINE MEILHOC

PHOTOS :

OUVERTURE, 3, 4 ET 8 ARNAUD BERTEREAU – 7, NICOLAS VERCELLINO – 1, 2, 5 ET 6 QUILLE



8

# P

## oint de vue de l'architecte Aymeric Zublena

« Les deux tours viennent s'inscrire dans le paysage des tours de Rouen. Une attention particulière a été portée à leurs proportions et notamment à leur hauteur, qui reste inférieure à celle de la tour sud du parvis de la cathédrale. »



La mémoire et l'identité de Rouen se lisent à travers ses paysages qui gardent les traces de son histoire. Le centre-ville et le port maritime sont les deux visages d'une même ville, les paysages physiques et symboliques d'un lieu unique.

La conception du sixième franchissement de la Seine, au seuil du centre-ville et du port maritime, était une occasion unique d'imaginer un monument urbain qui deviendrait un élément d'identification du site, un repère dans un environnement naturellement destiné à se transformer. Il s'agit ici de relier non seulement les deux rives, les domaines fluviaux et maritimes, mais aussi les deux entités constituantes de la ville, leurs passés et leurs futurs.

Au geste par trop ostentatoire et soumis à la mode d'un moment, nous avons préféré une approche sobre, économe, et surtout parié sur la vertu plastique de la lisibilité des forces et des mouvements sans artifice complémentaire. Nous avons rejeté les solutions aux dessins trop complexes dans ce paysage urbain aux échelles et formes déjà multiples. Pour donner sa bonne mesure à l'ouvrage

sur la Seine, et notamment à l'impact des tours de levage dans le site, sous tous les angles, nous avons opté pour une solution à tours centrées entre les tabliers. Cette approche permet aussi de minimiser l'obstacle formé par les piles en rivière en les dirigeant dans le sens du courant, tout en renforçant leur résistance en cas de choc avec un bateau. Les deux tours viennent s'inscrire dans le paysage des tours de Rouen. Une attention particulière a été portée à leurs proportions et notamment à leur hauteur, qui reste inférieure à celle de la tour sud du parvis de la cathédrale. Ces tours sont dédoublées en deux fûts pour en augmenter l'élanement et réduire au minimum les effets de masque. Leur section oblongue permet à la lumière d'y glisser ses nuances.

La structure supérieure de levage, le "papillon", en porte-à-faux symétrique de part et d'autre des tours, est une structure métallique tubulaire construite dans un vocabulaire qui réinterprète les superstructures des navires et des grues du port maritime. Les poulies et les câbles apparents donnent à voir et à comprendre le principe de levage du pont. L'élanement de la structure est obtenu en minimisant les porte-à-faux grâce à un levage par câbles centrés au-dessus du centre de gravité des tabliers. Les escaliers d'accès piétonnier à l'ouvrage sont traités dans le même souci de sobriété qui a présidé à la conception de l'ensemble : des emmarchements intégrés entre deux poutres de rives rectilignes. ■

« Au geste par trop ostentatoire et soumis à la mode d'un moment, nous avons préféré une approche sobre... »



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

**Maître d'œuvre :**  
DDE 76

**Maître d'œuvre  
de conception :**  
Arcadis – Serf – Michel Virlogeux  
– Aymeric Zublena architecte –  
Eurodim

**Entreprise :**  
groupement conjoint Quille  
(mandataire) – Eiffage – TP/Eiffel –  
Victor Buyck SC

**Coût :**  
**50 M€ HT**  
Lot génie civil : 22 M€  
Lot charpente métallique :  
10 M€  
Lot mécanismes : 18 M€



## → Le béton à l'épreuve du froid

La construction du viaduc de la Colagne, en Lozère, a exigé une phase d'étude d'une précision exceptionnelle. Objectif : assurer une cinétique de prise adaptée lors des travaux et une durabilité parfaite malgré les futures agressions du gel.

**T**rente-six mois de travaux, une longueur et une hauteur hors normes, des quantités de matériaux rarement atteintes : le viaduc de la Colagne cumule les records. En toute discrétion pourtant, il affiche les mensurations du plus imposant ouvrage d'art jamais bâti en Lozère. Il constituera à son entrée en service, prévue fin 2007, le principal maillon de raccordement entre la RN 88 (Lyon-Toulouse) et l'autoroute A75 (Clermont-Ferrand-Millau-Béziers), donc le principal vecteur du désenclavement de cette région très montagneuse.

### Appréciable gain de temps

La profonde vallée du Lot, qui inclut celle de la Colagne, était jusqu'à présent très isolée malgré son statut de point de passage obligé vers le sud. Pour 61 millions d'euros, dont la moitié investis dans le viaduc, la ville de Mende se situera 5 km plus près de l'autoroute A75. Les automobilistes y gagneront à la fois un temps appréciable et une plus grande sécurité.

Commencé en automne 2003, le chantier a respecté le phasage prévu. Pour autant, rien n'était joué d'avance. André Mascarelli, l'architecte du viaduc, a conçu un projet impliquant l'emploi de 21 000 m<sup>3</sup> de béton. Culminant à 108 m au-dessus du cours paisible de la Colagne – une rivière "à truites", dit-on –, la plus haute pile de l'ouvrage se signale de loin aux visiteurs. Le tablier aussi, avec son épaisseur variant de 5 m à 11 m. Son caisson en béton précontraint, d'une largeur utile de 18,10 m, sera couvert par une plateforme de circulation comprenant 2x2 voies de 3,50 m chacune, et un terre-plein central. D'une longueur totale de 663 m, construit par encorbellements successifs, il se décompose en cinq travées de 83 m, 148 m, 190 m, 151 m et 91 m de longueur. Les voussoirs constituant le tablier, coulés sur site à l'aide d'une paire d'équipages mobiles ont, à eux seuls, requis 120 m<sup>3</sup> de béton à chaque phase de bétonnage. C'est peu dire qu'à la Colagne, le béton est omniprésent...

Les piles P2 et P3, hautes respectivement de 108 m et 92 m, sont fondées sur des puits marocains de 7,30 m de diamètre. Constituées d'un fût en forme d'ovoïde, elles sont réalisées à l'aide de coffrages grimpants par levées de 4 m.

Compte tenu de la grande hauteur des piles et de la dimension des fléaux (190 m) en cours de construction, l'ouvrage est particulièrement sensible aux

### chiffres clés

- Longueur totale : **663 m**
- Coffrages : **52 000 m<sup>2</sup>**
- Béton : **21 000 m<sup>3</sup>**
- Armatures passives : **3 100 t**
- Armatures de précontrainte : **800 t**
- Durée du chantier : **36 mois**

effets du vent. Il a fait l'objet d'études précises pour valider la stabilité des fléaux au cours de toutes les phases de construction. Ils ont ainsi été cloués sur les têtes de pile avec des câbles de précontrainte, et haubanés par d'autres câbles ancrés au niveau des fondations.

### Des conditions de bétonnage particulièrement difficiles

Vincent Rouch, le chef de chantier de Spie Batignolles TPCI, l'entreprise mandataire, le confirme volontiers : "Ce n'est pas sans raison que le béton a été mis au point par le bureau d'études spécialisé de Spie selon des formulations spéciales particulièrement précises." Pourquoi un tel souci et un tel soin ? Un chiffre à lui seul vaut réponse : au mois d'avril 2006, l'équipe de Spie a coulé du béton par  $-11^{\circ}\text{C}$  ! Quand on sait combien il est difficile de maîtriser la prise et le durcissement du matériau à cette température extrême, on comprend la complexité du problème. D'autant que le viaduc devra également se montrer résistant au gel durant toute sa durée de service. Concrètement, hormis les bétons des puits et des pieux, réalisés en béton de classe de résistance C 35/45 classique, toutes les autres formulations ont intégré ces paramètres. Y compris, bien entendu, pour les longrines et pour les corniches-caniiveaux. Le caisson en béton précontraint est coulé en béton de classe de résistance C 60/75, assez complexe à fabriquer car sujet aux variations des éléments fins du sable fourni localement, préconisation imposée par le maître d'ouvrage.

### Du béton produit *in situ*

Eu égard à l'ampleur du défi à relever, la réussite est complète. Le béton était produit sur le chantier dans deux centrales implantées sur chaque rive. L'objectif permanent était d'obtenir un maintien en rhéologie correct, bien sûr, mais aussi une résistance au jeune âge la plus élevée possible. Pour ce faire, "ce ne sont pas les 15 MPa rendus nécessaires au

décoffrage qui s'avéraient les plus pénalisants, mais bien les 23 MPa que nous étions tenus d'obtenir 15 à 18 heures après le bétonnage afin de tendre les câbles de précontrainte de construction", précise Vincent Rouch. Le dosage et la nature de l'adjuvantation auront donc aussi été optimisés.

Les teneurs en eau de la formulation ont été adaptées et ajustées en fonction des heures de coulage et donc des températures. Sans que l'équipe de Vincent Rouch, vite "vaccinée" contre les aléas de la météo, en soit pour autant déstabilisée. Simplement plus concentrée et attentive encore que dans des conditions habituelles... D'autant qu'elle peut se fier à l'expérience d'André Mascarelli. Il s'était également vu confier le projet du viaduc de Verrières, un peu plus loin sur l'A75. "Verrières connaît la même exposition au grand froid. Et les délais de livraison ont été parfaitement respectés, sans que le climat hivernal ni les différences de température entre la saison froide et l'été ne perturbent ni ne dégradent la structure en béton." Et il n'y a aucune raison pour que des conditions thermiques similaires influent différemment sur la construction du plus grand viaduc de Lozère... ■

TEXTE : SIMON ARTZ

PHOTOS : SPIE BATIGNOLLES

**Maître d'ouvrage :**  
DDE de la Lozère

**Maître d'œuvre :**  
Arrondissement inter-départemental des ouvrages d'art (AIOA)

**Architecte :**  
André Mascarelli

**Bureau d'études et contrôle :**  
SETRA

**Études d'exécution :**  
direction technique de Spie Batignolles

**Entreprise :**  
Spie Batignolles TPCI

**Coût :**  
31 M€ TTC



1



2



3



4

➤➤➤ **1** La section des piles est pratiquement constante sur les petites (P 1 et P 4) et plus complexe sur les P 2 et P 3, avec un profil variable sur les 32 premiers mètres. **2** L'entreprise de construction a utilisé des coffrages semi-grimpants par levées de 4 mètres. **3** Démarche esthétique : les fûts ovoïdes sont parés d'engraves. **4** Le tablier est coulé en place par encorbellement à l'aide d'équipages mobiles.

# La route des défis

>>> EN 34 KILOMÈTRES D'UN

ITINÉRAIRE TRACÉ À MI-PENTE, LA ROUTE DES TAMARINS FRANCHIRA PLUS DE 120 RAVINES ENTRE LES VILLES DE SAINT-PAUL ET DE L'ÉTANG-SALÉ, AU SUD-OUEST DE LA RÉUNION. SOIT AUTANT D'OUVRAGES QUI DOIVENT À LA FOIS COMPOSER AVEC DES BRÈCHES ABRUPTES ET DÉLICATES À FRANCHIR, S'APPUYER SUR UN SOUS-SOL HÉTÉROGÈNE, ET ENFIN RÉSISTER À DES VENTS ET À DES ÉVÉNEMENTS CYCLONIQUES. À CE JOUR, LE CHANTIER A PRIS SON RYTHME DE CROISIÈRE ET TROIS DES QUATRE OUVRAGES EXCEPTIONNELS PRÉVUS SONT D'ORES ET DÉJÀ LANCÉS.



Construire une route à La Réunion n'a jamais été une partie de plaisir. Relief escarpé et dentelé, terrain pentu et raviné, sols hétérogènes, sont autant d'ingrédients qui compliquent – et pimentent – la tâche des équipes de conception et de réalisation. Le projet de la route des Tamarins a des allures de défi : 34 km à construire dans le sud-ouest de l'île, entre la ville de Saint-Paul et celle de L'Étang-Salé. Elle sillonne à "mi-pente", partant du niveau de la mer à Saint-Paul, remontant à des altitudes comprises entre 200 et 300 m jusqu'à Saint-Leu avant de redescendre sur le littoral à L'Étang-Salé.

### Pas moins de 120 ravines à franchir

Le tracé de la route des Tamarins est rythmé – voire haché – par les ravines, ces brèches creusées par le ruissellement des eaux. Sur 34 km, la route en franchira plus de 120, nécessitant autant d'ouvrages. Certaines ravines présentent des parois très raides, abruptes, parfois larges et profondes et

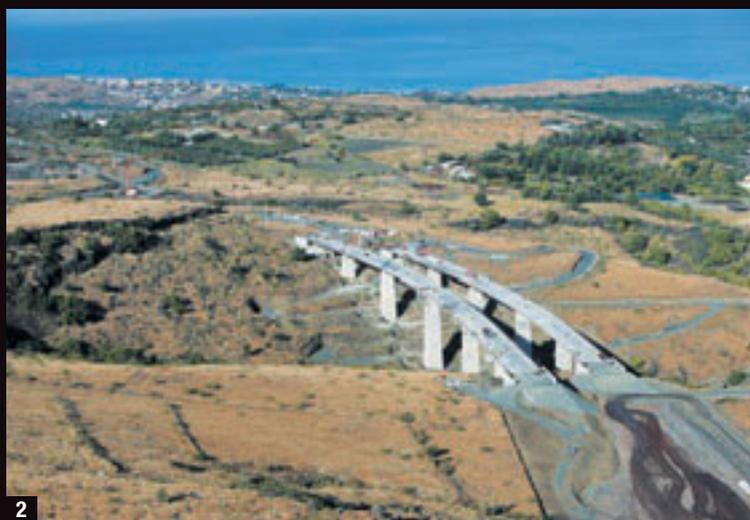
#### chiffres clés

- 33,7 km de route express entre Saint-Paul et L'Étang-Salé
- 9 échangeurs routiers
- 850 M€ d'investissements
- 4 ouvrages d'art exceptionnels
- 1 tunnel bitube et 2 tranchées couvertes
- 23 ponts non courants
- 120 ravines traversées

en outre inaccessibles depuis le fond. Ainsi, neuf des vingt-trois ouvrages d'art non courants que compte le tracé sont des ponts "mono-travée" à culée contrepoids permettant de franchir des ravines de 60 à 100 m d'ouverture. S'ajoutent de nombreux ouvrages hydrauliques, une vingtaine d'ouvrages courants, un tunnel bitube de 300 m et deux tranchées couvertes. Impressionnante, cette liste comprend aussi quatre ouvrages qualifiés "d'exceptionnels" par leur technicité : du nord au sud, viennent le viaduc de Saint-Paul et ses 750 m de long, le pont



1



2



3

>>> 1 Non loin de Saint-Paul, les viaducs de la Savane sont les premiers ouvrages visibles de la route des Tamarins. 2 Les chaussées s'inscrivent en courbe. Séparés, parallèles et écartés, les ouvrages ne créent pas de masque dans le paysage. 3 En phase de construction, les fléaux ont été stabilisés par des câbles de précontrainte joignant l'extrados du tablier au chevron des piles.



4



5

## programme

## Un chantier majeur en deux sections

La route des Tamarins fait partie des équipements majeurs inscrits au schéma d'aménagement régional de 1995. Ses 33,7 km constituent un chaînon manquant dans le ceinturage routier à 2 x 2 voies de l'île, entre Saint-Denis au nord et Saint-Pierre au sud. Outil de développement économique, la route des Tamarins, en reliant Saint-Paul à L'Étang-Salé, facilitera les liaisons entre le nord et le sud de l'île. Son tracé serpente à mi-pente – ni sur le littoral, ni sur les crêtes – de façon à desservir un maximum de lieux et à développer l'ouest de l'île en facilitant l'accès aux bourgs "des hauts". L'enjeu est également de prendre en compte le développement démographique de l'île puisque la population devrait passer de 780 000 habitants aujourd'hui à plus d'un million en 2025, augmentant de ce fait le nombre de véhicules et d'usagers des infrastructures réunionnaises.

Pour mener à bien ce projet de 850 millions d'euros dans les délais impartis, le programme a été découpé en deux sections : la première entre Saint-Paul et la RD 10 dont la maîtrise d'œuvre est assurée par le service Grands Travaux de la DDE ; la seconde entre la RD 10 et L'Étang-Salé avec Scetauroute aux commandes. À noter que les ouvrages sur la ravine des Trois-Bassins, la Grande Ravine et la ravine Fontaine ont fait l'objet de concours de maîtrise d'œuvre complète. Les ouvrages d'art non courants sont regroupés par familles selon leur importance et leur taille. On retrouve le viaduc et la tranchée couverte de Saint-Paul, les viaducs de la Savane, le tunnel du cap de la Houssaye, le viaduc sur la ravine des Trois-Bassins, le pont de la Grande Ravine, celui de la ravine Fontaine, et dix-huit autres ouvrages sur la section 2.

>>> **4** Les viaducs sont entièrement en béton précontraint, à tablier de hauteur constante, réalisé par encorbellements successifs. **5** Le viaduc de Fleurimont s'inscrit dans un cercle de 975 m de rayon côté montagne, 945 m côté mer. **6** Les tabliers sont rythmés par des portées de 62 m, comprenant un voussoir sur pile, huit paires de voussoirs courants et un voussoir de clavage. **7** Tous les voussoirs ont été bétonnés à la benne, avec la contrainte pour le béton d'une résistance au jeune âge élevée : 15 MPa à 15 heures.

sur la ravine des Trois-Bassins, long de 350 m, le pont sur la bien nommée Grande Ravine (300 m d'ouverture et 170 m de profondeur), et enfin le pont sur la ravine Fontaine (un peu plus modeste avec 200 m d'ouverture et 110 m de profondeur).

La conception de ces ouvrages a donné aux équipes d'ingénieurs l'occasion d'affronter différentes contraintes. La première est d'ordre géologique : les ravines sont des obstacles naturels, difficiles à franchir, où toute possibilité de poser un appui intermédiaire doit être exploitée pour réduire les portées. Ensuite, le sol est rarement de bonne qualité, alternant les coulées basaltiques et les couches de scories plus ou moins épaisses et décomprimées. Enfin, les ouvrages doivent être dimensionnés pour des conditions météorologiques cycloniques, tant en phase définitive qu'en phase provisoire. Cette période qui s'étale de novembre à avril influe également sur la réalisation des travaux et conditionne leur phasage :

on imaginerait mal de laisser de longs fléaux dans le vide durant la période cyclonique... En réponse à ce cahier des charges contraignant, les structures conçues, en béton ou mixtes, sont tantôt simples – ponts en arc surbaissé, pont à béquilles –, tantôt complexes.

### Précontrainte extradossée

Ainsi, si l'ouvrage sur la ravine des Trois-Bassins fait appel à une précontrainte extradossée, celui qui franchit la Grande Ravine se définit comme un pont à effet d'arc limité et contrôlé... Situé dans un environnement d'une rare beauté, l'ensemble de la route et de ses ouvrages reçoit un traitement paysager et architectural. Même si les ravines varient de l'une à l'autre, les ouvrages ont été regroupés par familles afin de mettre en valeur une certaine unicité technique et architecturale. Ainsi, tous les ouvrages d'art non courants à multitravées de la section 2 de la route des Tamarins pren-



6

7

nent appui sur des piles cylindriques s'évasant en tête. Leurs fûts jouent sur l'alternance d'anneaux de teinte et de texture différentes : béton clair ou béton désactivé, laissant apparaître la couleur forcée des granulats basaltiques.

### Intégration exemplaire

Autre exemple : la tête nord de la tranchée couverte où débouche le viaduc de Saint-Paul a fait l'objet d'un savant travail d'intégration par l'équipe constituée des architectes Frédéric Zirk et Pierre Dezeuze (voir p. 35) et du paysagiste Bertrand Folléa. La tête d'ouvrage recevra un "glacis frontal" au-dessus des tubes et prolongera les lignes des strates géologiques via un béton matricé et coloré. Et pour adoucir la jonction entre les deux grands murs latéraux qui délimitent la trace des déblais dans la falaise, cette dernière sera reconstituée grâce à un béton projeté coloré brun rouge sombre, intégrant de véritables blocs de basalte. Des options qui certes ont un coût, mais qui permettent de sauvegarder un patrimoine naturel inestimable.

Le chantier de la route des Tamarins est aujourd'hui une réalité. Il a pris son

rythme de croisière et les terrassements sont clairement dessinés de Saint-Paul jusqu'à la tranchée couverte de Saint-Leu. Trois des quatre ouvrages d'art exceptionnels sont lancés. Selon Paul Vergès, président du conseil régional de La Réunion, "on peut affirmer, au vu de l'avancement des travaux, que sauf imprévu la route des Tamarins sera livrée au terme de l'année 2008 ou au début de l'année 2009." ■

**Maître d'ouvrage :**  
Région Réunion

**Assistance de maîtrise d'ouvrage :**  
DDE/Setra/CETE/CETU

**Maître d'œuvre :**  
DDE service grands travaux (section 1), Scetauroute (section 2),  
Arcadis/Thalès/Berlottier (viaduc des Trois-Bassins),  
Setec TPI/Spielmann (viaduc de la Grande Ravine),  
Greish/Tremblet/Coyne & Bélier/Zirk/Dezeuze (pont sur la ravine Fontaine)

## → Viaducs de la Savane Un chantier exemplaire et riche en aventures

**P**armi les premières concrétisations du chantier de la route des Tamarins figurent les viaducs de la Savane, un peu au sud de Saint-Paul, au niveau du cap de la Houssaye : en amont, les viaducs sur la ravine Fleurimont, en aval, les viaducs sur la ravine Bras-Boucan-Canot.

### Un pont pour la discrétion

Un troisième pont est réalisé sur la ravine Petit-Bras-Canot, bien qu'un ouvrage hydraulique eût été suffisant. Ceci pour répondre à l'impératif de discrétion et d'intégration dans l'environnement, omniprésent sur la route des Tamarins. D'ailleurs, la transparence des viaducs de Fleurimont et Bras-Boucan-Canot a également dicté leur conception : les chaussées (2 x 3 voies) en courbe y sont séparées, parallèles et suffisamment écartées – tant en profil en long qu'en plan – pour éviter que la route ne crée un masque dans le paysage. Pour garantir

l'homogénéité des ouvrages, les deux viaducs présentent des caractéristiques géométriques identiques : même portée principale (62 m) et même épaisseur de tablier (2,8 m). Les viaducs de Fleurimont s'inscrivent dans un cercle de rayon 975 m côté montagne, 945 m côté mer. Quant aux viaducs de Bras-Boucan-Canot, un cercle de rayon 596 m côté

### chiffres clés

- Longueur totale : **663 m**
- Béton :
  - Fleurimont : **5 000 m<sup>3</sup>** (tablier), **4 600 m<sup>3</sup>** (appuis)
  - Bras-Boucan-Canot : **6 150 m<sup>3</sup>** (tablier), **6 650 m<sup>3</sup>** (appuis)
- Armatures passives :
  - Fleurimont : **1 400 t**
  - Bras-Boucan-Canot : **2 120 t**
- Précontrainte :
  - Fleurimont : **160 t**
  - Bras-Boucan-Canot : **2 000 t**
- Durée de réalisation : **36 mois**



8



9

montagne – 590 m côté mer – succède à un alignement droit et une clothoïde. C'est le groupement constitué des entreprises Demathieu et Bard (mandataire) et GTOI (Grands Travaux de l'océan Indien, groupe Colas) qui réalise les travaux. "La première bonne surprise du chantier a concerné la géologie, explique Inouk Moncorge, chef de centre chez GTOI. Pas besoin de fondations profondes ou semi-profondes car les roches étaient saines, assez homogènes, sans scories volcaniques." Des fondations superficielles suffiront donc à porter les viaducs entièrement en béton précontraint de hauteur constante, réalisés par encorbellements successifs. Pour autant, l'appui de la culée (C0) côté montagne du viaduc de Fleurimont, portant à la fois sur une passe de basalte et une passe de scories, a nécessité la réalisation d'un confortement par mise en œuvre d'un béton cyclopéen (non armé) sur toute l'assise de culée.

### Des vents à 240 km/h

Les piles qui émergent des ravines ont des formes simples. Les fûts parallélépipédiques s'affinent en montant selon un fruit de 1/30 sur les quatre faces. Les parois d'épaisseur constante (45 cm)

sont matricées. Avec une hauteur de 35 m pour la plus grande, les piles sont réalisées par levées de 4,50 m.

Quant aux tabliers, ils sont réalisés par encorbellements successifs et rythmés par des portées de 62 m. Ces portées sont constituées par un voussoir sur pile de 8 m, huit paires de voussoirs courants de 3,20 m, et par un voussoir de clavage de 2,80 m, tous d'une largeur constante de 13,80 m. Avec 32 mois pour réaliser le chantier, les entreprises n'ont pas lésiné sur les moyens : quatre grues à tour ont permis de construire simultanément les quatre fléaux des viaducs côté montagne et côté mer. Ce qui a aussi nécessité l'emploi de quatre équipes mobiles, spécialement mis au point par le bureau des méthodes de l'entreprise Demathieu et Bard. Notons que tous ces équipements répondent aux règles de sécurité relatives aux vents, à savoir, dans le cas présent, des vents de 240 km/h. C'est aussi la raison pour laquelle les fléaux ont dû être stabilisés en phase de construction par des appuis provisoires et des câbles de précontrainte de clouage : six câbles 19T15S joignant le chevêtre des piles et l'extrados du tablier. "Pour installer les équipes mobiles simultanément de part et d'autre d'une pile, nous avons

>>> **8** Quatre équipes mobiles ont été mis au point pour le projet par l'entreprise Demathieu et Bard. **9** Les piles qui émergent des ravines sont des fûts parallélépipédiques qui s'affinent avec la hauteur. **10** À la différence de la plupart des autres ravines de l'île, celle des Trois-Bassins est dissymétrique et assez peu profonde. **11** Photomontage. Solution de franchissement retenue : un pont à précontrainte extradossée à nappe centrale. **12** Les concepteurs ont profité de la rive gauche moins pentue pour y poser des appuis.

réalisé des voussoirs sur pile de grande dimension mesurant 8 mètres de longueur", explique Iliès Amami, directeur du projet pour Demathieu et Bard, Jacques Mossot assurant la direction technique.

### Deux phases de bétonnage

Le bétonnage s'est effectué en deux phases : d'abord jusqu'au niveau de la nervure transversale où s'ancrent les câbles de précontrainte extérieure puis jusqu'en partie haute du voussoir sur pile avec les tubes déviateurs et les ancrages de la précontrainte extérieure. Tous les voussoirs ont été bétonnés à la benne. Une centrale à béton implantée sur site a été utilisée. "En termes de béton, l'élément le plus contraignant était d'atteindre de bonnes performances au jeune âge, précise Iliès Amami. À savoir 15 MPa à 15 heures. Ce que nous avons obtenu par l'adjonction d'un superplastifiant réducteur d'eau." À 28 jours, la résistance en compression atteignait 45 MPa

alors que les hypothèses de dimensionnement prenaient en compte un béton de classe de résistance C35/40.

Au final, le chantier des viaducs de la Savane s'est déroulé comme prévu. Techniquement tout du moins. Car l'épidémie de chikungunya, entre autres aléas, s'est chargée de donner à ce chantier un parfum d'aventure... ■

**Maître d'ouvrage :**  
Région Réunion

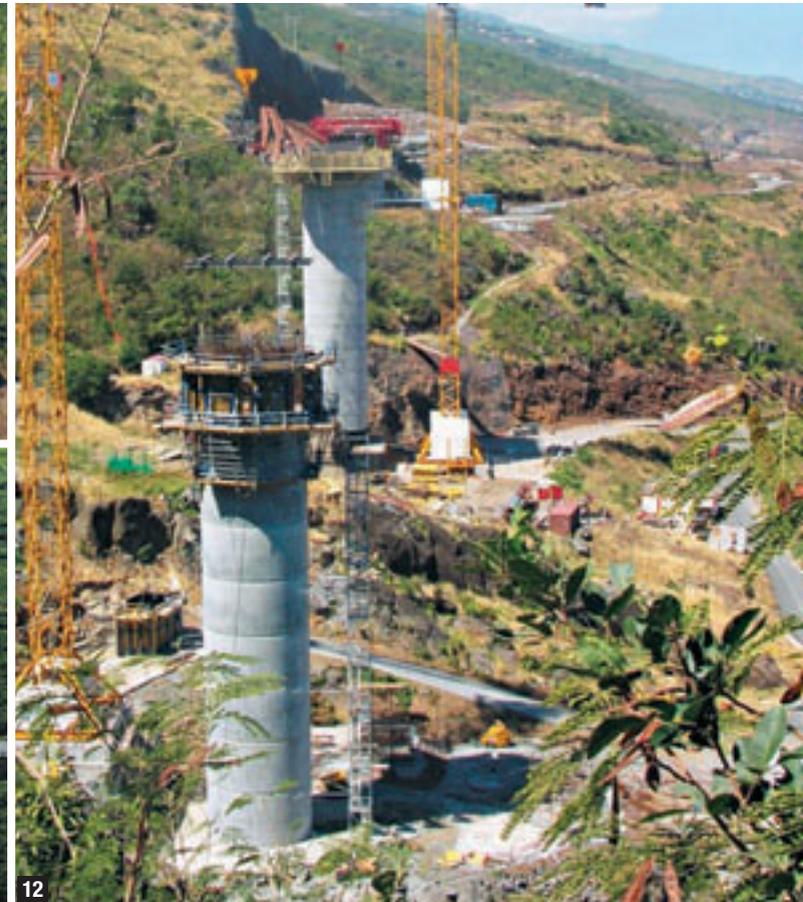
**Maître d'œuvre :**  
DDE service grands travaux

**Entreprise :**  
Demathieu & Bard (mandataire),  
GTOI

**Architecte :**  
Yves Faup, Frédéric Zirk, Pierre  
Guillaume Dezeuze

**BE maître d'œuvre :**  
Arcadis

**BE Entreprise :**  
Secoa



## précontrainte

- Ratio de précontrainte : **45 kg/m<sup>3</sup>** pour la précontrainte longitudinale
- Câbles extradossés extérieurs au béton et au caisson disposés de façon axiale, ancrés dans des bossages (intérieurs au caisson en sous-face du hourdis supérieur) :
  - Fléau P1 : **2 nappes de 7 câbles 37T15S**
  - Fléau P2 : **1 nappe de 3 câbles 37T15S**

Ces câbles sont démontables et leur remplacement câble par câble est possible avec maintien partiel de la circulation sur l'ouvrage.

La protection est assurée par la gaine des torons, une gaine en PEHD et une coque d'habillage.

- **Précontrainte extérieure : câbles 19T15S**
- **Câbles des fléaux : câbles 12T15S** intérieurs au béton mis en œuvre au fur et à mesure de la réalisation des voussoirs
- **Câbles éclisses : câbles 12T15S** intérieurs au béton mis en œuvre après clavage en travée
- **Précontrainte transversale du hourdis : câbles 4T15S** espacement 1 m

## → Ravine des Trois-Bassins Un voilier de béton lancé sur la brèche

Assez singulière en comparaison des autres, la ravine des Trois-Bassins est nettement dissymétrique sans être ni abrupte ni profonde. Rive droite, un versant raide, assez classique ; rive gauche, un profil moins pentu mais très chahuté. Ces conditions bien particulières expliquent les trois réponses au concours de maîtrise d'œuvre lancé par le conseil régional. Deux solutions ont été retenues sur les trois présentées. Libre ensuite aux entreprises de baser leurs études sur la solution de leur choix. D'abord un ouvrage à deux arcs convergents proposé par le groupement Ingérop/Mayeur-Morris-Renaud. Un arc qui suspend le tablier prend naissance en rive, se dédouble et retombe jusqu'à prendre appui en deux endroits, 50 m plus bas. De là naissent deux contre-béquilles qui, à leur tour, convergent vers le tablier.

L'autre solution, proposée et imaginée par le groupement Arcadis/Thalès/Strates,

consiste en un pont à précontrainte extradossée à nappe centrale. Le tablier n'est ni complètement un caisson en béton précontraint, ni tout à fait haubané (le comportement aéro-élastique des haubans en période cyclonique pouvant se révéler problématique). L'ouvrage, avec ses mâts proportionnés à la brèche, file la métaphore du voilier et se compose de quatre travées dégressives dont la plus longue est en rive. Ses concepteurs reflètent ainsi la dissymétrie de la ravine, tout en profitant de l'opportunité qui leur est offerte de projeter quelques appuis de hauteur limitée en rive gauche.

### Une brèche de 370 m

C'est finalement la seconde solution qui a été préférée à la première, trop chère, et les travaux confiés au groupement Eiffage TP/Razel/Matière ont commencé début 2006. Au droit du tracé projeté, la

## chiffres clés

- Longueur : **374 m**
- Longueur des travées : **43 m**  
– 76 m – 105 m – 126 m
- Hauteur des piles : **10 m – 37 m**  
– 48 m
- **Tablier :**
  - Béton C60/75 : **6 950 m<sup>3</sup>**
  - Aciers passifs : **1 180 t**
  - Précontrainte longitudinale : **315 t**
  - Précontrainte transversale : **67 t**
- **Appuis :**
  - Béton C45/55 : **3 910 m<sup>3</sup>**
  - Aciers passifs : **645 t**
  - Micropieux : **1 100 m**

brèche à franchir est de 370 m, en alignement droit et en pente unique à 3%. L'entrée en terre en rive gauche, un temps prévue *via* une culée massive, se fera finalement par une travée courte de 43,20 m concluant la travée dégressive : 126 m, 104,40 m, 75,60 m et 43,20 m (ces longueurs permettent de conserver un pas constant de 3,60 m, celui des joints de voussoirs et des bracons). Les piles, hautes de 48,10 m, 37,20 m et 8,20 m, respectent également la dégressivité. En béton de classe de résistance C 45/55, elles sortent du sol en fûts de



13



14



15

>>> 13 Les trois piles de 48, 37 et 8 mètres sont construites simultanément. Le tablier en béton commence à se dessiner. 14 Une fois le voussoir sur pile réalisé, les équipages mobiles partent à l'assaut du vide. 15 Le tablier est un monocaïsson de 22 m de largeur. Les travées dégressives amèneront une situation de sur-encorbellement qui compliquera sérieusement la tâche des équipes de chantier.

section oblongue et évidée et sont fondées sur semelles superficielles dans un banc basaltique de bonne qualité.

Venons-en au voilier. Sa "coque" – le tablier – a une hauteur constante de 4 m. C'est un monocaïsson de 22 m de largeur, en béton de classe de résistance C 60/75, de section trapézoïdale : ses âmes (0,50 m d'épaisseur) présentent un léger fruit de 10° vers l'intérieur. Le "pont" – le hourdis supérieur – est précontraint transversalement et comporte deux consoles latérales de 7,80 m. En fond de cale, la largeur (constante) est de 8 m pour une épaisseur de 0,25 m. Les bracons qui rythment l'ouvrage sont

métalliques, constitués d'une tôle pliée à angle droit de 22 mm d'épaisseur. Les voussoirs seront réalisés par équipage mobile en pleine section avec intégration des bracons.

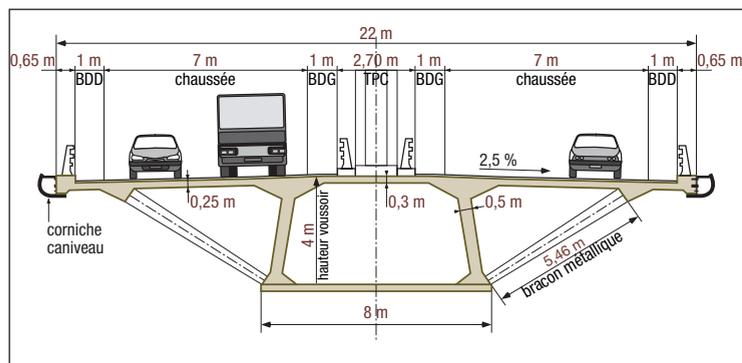
### Des mâts de béton

Arrêtons-nous maintenant sur les mâts du voilier, les déviateurs sur piles. Prévus en acier à l'origine, ils auraient conduit à des structures métalliques très lourdes du fait des conditions météorologiques et des impératifs de maintenance. Trop lourdes en tout cas au regard des difficultés d'accès au site et de la faiblesse

des moyens de levage disponibles sur l'île. Les déviateurs sur piles seront donc constitués d'un noyau rectangulaire de béton de classe de résistance C60/75 coulé en place entre des plaques de béton blanc poli jouant le rôle de parement. À noter que les déviateurs seront réalisés aussitôt après les voussoirs sur piles de façon à autoriser la mise en place du premier câble de précontrainte extradossée en cours d'encorbellement.

des calculs au vent, cruciaux pour cet ouvrage. Un modèle cyclonique spécifique, mis au point par le CSTB, a été utilisé pour toutes les modélisations et études aérodynamiques du pont. Les travaux devraient durer une trentaine de mois pour une livraison prévue courant avril 2008. ■

TEXTE : STAN GETZEN  
PHOTOS : HERVÉ DOURIS – RÉGIS BOUCHU/ACTOPHOTO



>>> Le tablier du pont sur la ravine des Trois-Bassins est un monocaïsson de 22 m de largeur à 2 x 2 voies de circulation. Le hourdis supérieur est précontraint transversalement et comporte deux consoles latérales de 7,80 m.

Outre ces câbles extradossés, le pont sur la ravine des Trois-Bassins fait appel à quatre autres types de précontrainte : la précontrainte extérieure, la précontrainte transversale, les câbles de fléaux et les câbles éclisses nécessaires pour la mise en précontrainte intérieure après clavage en travées. La dissymétrie de l'ouvrage amènera une situation de "sur-encorbellement" – un fléau plus grand d'un côté que de l'autre – dans la travée la plus longue, ce qui nécessitera sept paires de câbles de fléaux supplémentaires. Un "sur-encorbellement" dont les ingénieurs ont dû tenir compte dans le cadre

**Maître d'ouvrage :**  
Région Réunion – DDE service grands travaux

**Maître d'œuvre :**  
Arcadis (mandataire), Thales, Architecture Strates

**Architecte :**  
Jean-Vincent Berlottier et Damien Renaud (Strates)

**Groupe d'entreprises :**  
Eiffage TP, Matière, Razel

# solutions

## Éléments préfabriqués en béton pour le génie civil

>>> MODULES D'ÉCRANS ACOUSTIQUES, PONTS-CADRES POUR  
PASSAGES INFÉRIEURS, PAREMENTS ET CORNICHES DE VIADUCS, POUTRES  
EN BÉTON PRÉCONTRAIT POUR RECOUVRIR UNE AUTOROUTE, MURS  
DE SOUTÈNEMENT VÉGÉTALISABLES, OUVRAGES HYDRAULIQUES CONSTRUITS  
SOUS REMBLAIS DE GRANDE HAUTEUR, DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT  
OU DE RÉCUPÉRATION DES EAUX PLUVIALES... DANS TOUS CES  
DOMAINES, LES INDUSTRIELS DU BÉTON ÉLARGISSENT L'OFFRE DE  
SOLUTIONS FAISANT APPEL À DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS.



### → Seine-et-Marne

Des corniches préfabriquées en béton pour le viaduc de l'Ourcq sur la LGV Est. **p. 18**



### → Aix-en-Provence

Un mur "préfa" se fond dans le décor. **p. 19**



### → Lognes

Des protections acoustiques à couronnement intégré. **p. 20**



### → Languedoc-Roussillon

Pavés béton drainants sous tapis vert. **p. 22**

## → L'offre de l'industrie du béton expliquée à tous les publics

**CHACUN NUMÉRO DE CONSTRUCTION MODERNE EST L'OCCASION D'ILLUSTRE LA CONTRIBUTION DE L'OFFRE BÉTON AU BÂTIMENT. ELLE EST AUSSI RICHE DANS LES TRAVAUX PUBLICS. MAIS LES TP PEUVENT SEMBLER INACCESSIBLES AUX COMMUNES, AUX ARCHITECTES ET AUX MAÎTRES D'OUVRAGE. UN GUIDE VIENT DE PARAÎTRE POUR LES ÉCLAIRER.**

L'offre de l'industrie du béton, tel est le titre du guide récemment édité par le Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton (Cerib), la Fédération de l'industrie du béton (Fib) et le Centre d'information sur le ciment et ses applications (Cimbéton). Ce guide vient combler en quelque sorte un vide. "Nous avons déjà réalisé un ensemble d'ouvrages ciblés sur les ponts, sur l'assainissement, sur la voirie, les écrans acoustiques, et des documentations sur d'autres produits pour le bâtiment – habitation, tertiaire, activités de stockage, etc. Mais il nous manquait un guide sur l'offre de l'industrie du béton qui fasse un peu le pendant dans le domaine des travaux publics. Et pour nous,

c'est important, car les TP représentent 40 % de l'activité de notre industrie", explique Marc Lainé, secrétaire général de la Fib.

### Montrer l'éventail des possibles

Objectif de ce nouveau venu (réf. T 44 dans la collection Cimbéton) : dévoiler, sans prétendre à l'exhaustivité, les propositions des industriels, montrer tout ce qu'il est possible de créer dans le domaine des TP à travers une présentation très générale. "En abordant en termes un peu généralistes des problématiques ou des sujets plutôt techniques, on souhaite atteindre, convaincre et intéresser le maximum de lecteurs et d'acteurs : des professionnels ou de futurs professionnels, comme les élèves de différentes écoles, des enseignants", complète Patrick Guiraud, directeur délégué génie civil à Cimbéton. "Le guide vise à faire découvrir l'essentiel. Après, grâce aux adresses disponibles sur notre site Internet, ils ont tout loisir de contacter les industriels", enchaîne Marc Lainé. De fait, évoquer le terme "travaux publics" peut faire penser d'emblée aux poids lourds du secteur – Bouygues, Eiffage et Vinci pour ne citer qu'eux. Pourtant, c'est souvent auprès de sociétés beaucoup plus modestes en taille, mais spécialisées dans ce domaine

particulier, qu'il est possible de trouver "la" solution préfabriquée répondant au problème particulier posé par une commune, un architecte ou un maître d'ouvrage. Un donneur d'ordre est souvent soucieux que son chantier soit achevé dans les délais les plus brefs, pour un moindre coût et en réduisant au minimum les nuisances vis-à-vis des riverains. "Apporter des solutions toutes faites sur chantier est bien plus simple que les mettre en œuvre sur place", résume Lionel Monfront, responsable du pôle Génie civil au sein du Cerib, qui fait le rapport avec le côté "Meccano®" du principe. Et d'ajouter : "Pour des écrans acoustiques ou des murs de soutènement, par exemple, les produits sont livrés sur le chantier et la seule opération concerne le montage. L'avantage : une solution constructive moins sensible aux conditions climatiques, qui se pose plus rapidement, avec moins de main-d'œuvre. Enfin, les opérations les plus délicates comme la précontrainte ont été traitées avant, en usine." Ces conditions de réalisation constituent d'ailleurs l'un des "plus" de la préfabrication : toutes les phases de conception – calculs, dessins, fabrication, contrôle qualité – ont eu lieu en amont de l'intervention sur le terrain, au sein même des usines.

### L'argument de l'esthétique

Autre intérêt, la création de formes parfois complexes voulues par les maîtres d'ouvrage ou les architectes, pratiquement impossibles à réaliser sur place et nécessitant des moules très spécifiques. "Et le côté esthétique n'est pas à négliger. Un mur de soutènement, on demande qu'il soutienne, bien sûr, mais aussi qu'il soit beau. Même chose pour les culées ou les éléments de pont, pour lesquels des traitements de surface sont fréquemment demandés", précise un industriel. Depuis de nombreuses années, les progrès de l'industrie de la préfabrication, les outils modernes et l'évolution des performances des bétons permettent ainsi de produire

>>> L'autoroute A3, près de Paris, fait l'objet d'un programme de couverture d'un kilomètre de long, divisé en plusieurs sections. La plus innovante comprend 85 poutres inclinées à 30°.



en usine une large gamme de formes, de parements, de textures et de teintes grâce au subtil jeu des pigments et des granulats. "L'offre préfabriquée est très riche, mais pas forcément recensée, poursuit Lionel Monfront. Chacun travaille un peu dans son coin. Or on peut difficilement faire de l'assainissement sans faire de la voirie, ou de la plate-forme sans faire de l'assainissement. Justement, nous voulons dire : vous faites de l'assainissement, voyez les offres qui vous sont proposées." Le marché est en plein essor. "L'avenir est dans la préfabrication, conclut Marc Lainé. C'est la raison pour laquelle, dans ce domaine, les industriels développent beaucoup de solutions qui sont connues par les spécialistes de la construction, mais moins par les nouveaux arrivants sur le marché. Ceux-ci n'ont pas spontanément l'idée d'aller chercher tel ou tel produit préfabriqué pour construire tel ou tel ouvrage. C'est justement l'intérêt de ce guide." ■

TEXTE : MICHEL BARBERON

PHOTO : DR

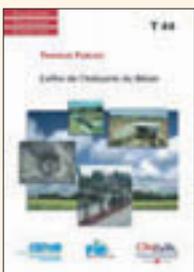
## technique

### Suivez le guide

Le T 44 de la "Collection technique" Cimbéton, consacré à l'offre de l'industrie du béton et largement illustré de photos de chantier, comporte dix chapitres. Le premier, "Les atouts des produits préfabriqués en béton", démontre les avantages de l'offre, recense la fiabilité, la maîtrise de la mise en œuvre, l'esthétique, la contribution au développement durable, l'optimisation technique et l'innovation. Le chapitre 2 aborde "L'adduction d'eau et l'assainissement collectif", le 3 l'"Assainissement des plates-formes routières, autoroutières et ferroviaires". Le chapitre 4 est consacré aux "voiries et aménagements urbains", le 5 aux "Transports collectifs". Le chapitre 6 parle "Soutènements et stockages", le 7 concerne les "Écrans acoustiques en béton", le 8 les "Tranchées couvertes et passages inférieurs". Les "Ponts routiers, autoroutiers et ferroviaires" font l'objet du chapitre 9, les "Réseaux électriques et de télécommunications", du chapitre 10.

**Guide disponible à Cimbéton, au Cerib et à la Fib**

(réf. T 44). Adresses sur le site : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)



PAVÉS EN BÉTON

### ➔ Réussite strasbourgeoise

Plus de 8000 m<sup>2</sup> de pavés en béton à poser entre les voies du tramway de Strasbourg, quelque 100 000 m<sup>2</sup> sur les trottoirs adjacents, auxquels s'ajoutent les nez de quai et les entourages d'arbres... C'est assurément un très beau marché que la société Kronimus réalise en ce moment dans la capitale alsacienne. "Sur deux ans, c'est énorme", reconnaît Christian Jung, responsable commercial sur ce secteur au sein de la société. Pour Kronimus, il s'agit en fait d'une continuité. En 1999-2000, la société avait déjà mené des chantiers similaires mettant en œuvre deux types de produits préfabriqués en béton. Entre les deux rails, à l'image de ce qui existe dans la ville italienne, des dalles en béton dites "Milan". Formatées à la largeur voulue, elles recréent un pavé béton autobloquant de 9 cm de hauteur, recouvert en partie supérieure d'un parement de 1 cm d'épaisseur, constitué de granulats (granit ou porphyre) mélangés avec des colorants. Cinq jours après leur fabrication, les dalles sont grenillées pour obtenir un aspect pierre naturelle. Quatre se positionnent dans l'espace entre rails : une dalle de départ, comportant



une réservation pour laisser la place à l'attache du rail, deux centrales et enfin une dalle de finition munie, elle aussi, d'une réservation. Le tout est jointé par un liant spécial. Le même principe de pavage, appelé "City-truck", est mis en œuvre sur les trottoirs. De format rectangulaire, les dalles (18 x 30 cm, épaisseur 8 cm), posées sur un lit de sable, s'emboîtent les unes dans les autres et les joints sont remplis de sable concassé.

PHOTOS : DR

Préfabricant : Kronimus

CORNICHES DU VIADUC DE L'OURCQ  
SUR LA LGV EST-EUROPÉENNE

## → Chantier-vitrine

À partir de juin 2007, les voyageurs filant à 320 km/h vers l'est de la France à bord des rames TGV n'auront pas le temps de les apercevoir. En fait, ce sont les promeneurs du dimanche ou les automobilistes qui peuvent d'ores et déjà admirer les corniches encadrant le viaduc de l'Ourcq, en Seine-et-Marne, œuvre de Bouygues. *"C'est un produit sur mesure, demandé par le client et l'architecte"*, précise Alain Burel, directeur commercial chez Celtys. Sous forme de modules préfabriqués de 2,50 m de long et de 2 m de haut, la société bretonne, retenue après appel d'offres, a ainsi fourni 800 m de corniches en béton poli. Un marché nécessitant de longs et minutieux préparatifs *"qui, par rapport à la fabrication de produits de série, nous demandent plus d'énergie"*, précise Alain Burel.

À partir des plans qui leur sont transmis, les techniciens réalisent des moules et un outillage spécifiques, puis un échantillon de béton pour s'adapter aux souhaits du client. Après validation de ce prototype, la fabrication est lancée. Celle-ci est contrôlée de bout en bout, avec un suivi permanent des outillages, des moules... et des bétons, dont l'homogénéité doit être parfaite d'un bout à l'autre du viaduc, avec une parfaite régularité dans la teinte. Au bout d'une semaine, chaque module passe sur un banc de polissage pour faire apparaître le granulat et lui donner le brillant de surface. *"Ce ne sont pas des réalisations exceptionnelles, nous en avons fait d'autres bien plus complexes, conclut Alain Burel. Mais ici, il y a la fierté d'avoir participé à la ligne LGV."*

PHOTOS : DR

Préfabricant : Celtys



CANIVEAUX DE LA LGV EST-EUROPÉENNE

## → Produits longue durée pour ligne à grande vitesse

Dix kilomètres de fossés composés d'un ensemble de caniveaux drainants, de rehausses et de couvercles, pour récupérer les eaux pluviales le long de la ligne à grande vitesse Est-européenne. C'est le chantier achevé récemment par Sogea Est, Sobea et SEM TP. Fournisseur des éléments préfabriqués en béton, la société Celtys, basée en Bretagne et riche de trois autres sites de production à Carhaix, Quimper et Rennes, avait déjà rem-

porté sur cette même ligne, en 2003, un marché identique mené par DTP (Bouygues), représentant 20 km de linéaire. *"Ces produits préfabriqués en démoulage immédiat dans notre usine de Landivisiau, dans le Finistère, doivent avoir une durée de vie très longue"*, explique Alain Burel, directeur commercial chez Celtys. Si elle livre depuis très longtemps et de façon régulière des caniveaux à câbles posés le long des lignes classiques de chemin de fer, elle fabrique aussi de nombreux éléments pour les aménagements urbains : bacs à fleurs, pavés, dalles...

PHOTO : DR

Préfabricant : Celtys



CADRE FERMÉ AVEC PAREMENTS À ENGRAVURES  
SOUS L'AUTOROUTE A29

## → Quatre semaines au total

Pour maintenir la continuité d'une piste cavalière, près d'Hornoy-le-Bourg (Somme), sous l'autoroute A29 alors en construction, la technique du cadre fermé préfabriqué, développée par la société Chapsol et installée ici par les entreprises Quille et Norpac, a été retenue. Long d'une vingtaine de mètres, d'une ouverture de 3x3,50 m, ce passage souterrain est constitué de dix éléments monolithiques en béton armé, réalisés dans l'usine Chapsol de Soissons. À ses extrémités, des murs de sortie, ou têtes d'ouvrage, avec des engravures dans le béton créées par une matrice en positif. "Nous pratiquons la technique du démoulage différé qui consiste à couler l'élément de cadre dans

un moule métallique qui est fortement vibré, puis à laisser prendre ce béton pendant une douzaine d'heures", précise Thierry Maucherat, responsable commercial régional chez Chapsol.

La réalisation d'un tel ouvrage exige environ un mois, dont dix jours pour concevoir les dix portions de cadre. La mise en place, qui ne nécessite aucune liaison mécanique entre éléments posés bord à bord et stabilisés par le poids du remblai, peut se faire en une seule journée, avec un minimum d'interventions sur chantier. Chapsol a développé un logiciel puissant et évolutif, en conformité avec les règles de dimensionnement des Passages inférieurs en cadre fermé (PICF): "Il suffit de saisir les dimensions et le logiciel produit instantanément les plans d'armatures, détermine les ratios d'acier et effectue tous les chiffrages", détaille Thierry Maucherat.

PHOTO: DR

Préfabricant: Chapsol



SOUTÈNEMENT VÉGÉTALISABLE

## → Fondu... enterré

"Dernièrement, nous avons réalisé un magnifique ouvrage pour un grand supermarché à Aix-en-Provence: un mur de soutènement de 6,40 m de hauteur et d'environ 150 m de longueur, comportant quelque 2000 caissons Reboul®, s'enthousiasme

Éric Valayer, responsable technico-commercial chez Stradal. Cette technique brevetée – des caissons préfabriqués qui présentent la particularité d'être végétalisables – existe depuis 1979 au sein de la société. À ce jour, elle représente environ 350 000 m<sup>2</sup> de références et plus de 100 km de murs cumulés, de 2 à 14 m de hauteur. Conçu à partir d'un profil unique de même largeur (0,72 m extérieur), il se décline en trois profondeurs: 0,50 m, 1 m et 1,50 m. "À partir



de ces trois éléments, on réalise des murs 'souples' qui épousent le terrain avec courbes et contre-courbes, et esthétiques grâce aux plantations en façade. Au fil du temps, on ne les voit plus." Les avantages techniques du système? Le front de taille est peu entamé puisque le soutènement intervient en façade, il ne nécessite pas de matériaux annexes, et la pose est rapide: jusqu'à 45 m<sup>2</sup> par jour. Seule condition impérative, connaître la stabilité du sol et le renforcer éventuellement par une semelle. Autre réalisation récente en caissons Reboul®, un chantier significatif a été mené récemment dans l'arrière-pays niçois. Il sert à retenir les terres destinées aux plans de vignes en terrasses, souvent emportées lors des orages violents.

PHOTOS: DR

Préfabricant: Stradal



ÉCRANS ACOUSTIQUES EN BÉTON DE BOIS À LOGNES

## → Couronnement intégré

Pour réaliser ce chantier de protections acoustiques à Lognes (Seine-et-Marne), la société Capremib, basée près de Reims, a proposé une solution variante permettant d'intégrer le couronnement à l'écran. Ces écrans acoustiques en béton de bois sont de hauteur variable, mais conçus de manière à traiter chaque travée avec, au maximum, deux éléments superposés. Une première phase de ce chantier a été menée entre avril et juillet



2005 sur 800 m. Une seconde de 1 200 m s'est achevée fin juillet 2006. Les avantages de ce dispositif ? Avec la réduction du nombre de joints horizontaux par rapport à l'élément de base, l'étanchéité sonore est améliorée d'où, d'une part, une meilleure performance acoustique de l'écran et, d'autre part, une réduction des coûts d'entretien au niveau des joints. "Les trames sont fabriquées en usine, donc dans de bonnes conditions. Lorsqu'elles

arrivent sur le chantier, on en pose huit à dix par jour, soit une quarantaine de mètres d'écrans, sachant que chaque trame est composée de trois panneaux en hauteur", calcule Jérôme Hervet, chef de secteur chez Segex, société spécialisée en ouvrages d'art, écrans acoustiques et assainissement.

PHOTOS : DR

Préfabricant : Capremib

COUVERTURE DE L'AUTOROUTE A3

## → Poutres inclinées

Les riverains proches de l'autoroute A3, au nord-est de Paris, vont dormir un peu mieux dans quelques mois. Chaque nuit, à la faveur des interruptions de circulation, 5 à 7 poutres préfabriquées en béton armé sont mises en place au-dessus de l'autoroute par d'énormes grues de 250 à 300 t, dans le cadre des travaux de couverture. Ce chantier, long de 1 km, a débuté en janvier 2004 et devrait s'achever en janvier 2007. Il se décompose en plusieurs sections. Une couverture traditionnelle avec poutres horizontales sur laquelle les piétons pourront circuler parmi des aménagements paysagers, et, sur 300 m, une couverture d'un autre type, recouverte de 4 500 m<sup>2</sup> de plaques en cuivre. Particularité essentielle, cette couverture est constituée de poutres inclinées à 30° (l'une de ses extrémités se trouvant à 12 m de hauteur, l'autre à 7 m). Au total, 450 poutres préfabriquées en béton, dont 85 inclinées, longues de 20 à 22 m, d'un poids unitaire de 20 t. Une technique très innovante : "C'est la première fois qu'on l'utilise, affirme Didier Galpin, directeur de projet chez Bouygues-Construction. Pour les poutres, nous avons proposé des variantes. Habituellement, elles sont en forme de I et dessus on vient poser des prédalles. Ici, nous avons



amené une variante avec une poutre en T déjà munie d'un plancher large de 1,50 m. Cela évite de revenir la nuit suivante pour installer les prédalles." Les innovations concernent aussi les outils spécifiques développés pour optimiser cette méthode, et pour réduire à la fois les délais et les risques. On pense notamment au portique spécifique de ferrailage, qui a reçu un prix de la Caisse régionale d'assurance maladie (CRAM).

PHOTOS : DR

Préfabricant : Capremib





#### ÉCRANS ACOUSTIQUES DU PÉAGE DE L'AUTOROUTE A62

### → Hautes performances

Pour protéger les riverains des nuisances sonores provoquées par l'élargissement de la gare de péage nord de l'autoroute A62, près de Toulouse, le maître d'ouvrage ASF a installé des protections acoustiques.

L'écran, d'une surface d'environ 2 000 m<sup>2</sup>, fait appel à des panneaux préfabriqués de type "Artecran", développés par la société Bonna Sabla, dont la pose est assurée par l'agence BEC frères, de Tournefeuille (Tarn). Pour Bonna Sabla, ce chantier s'inscrit dans la continuité d'une autre opération menée au cours de l'année 2000, toujours sur l'autoroute A62, mais pour son élargissement de 2x2 à 2x3 voies, où 12 000 m<sup>2</sup>

de protections acoustiques avaient déjà été posés. "Lorsque nous avons décroché ce nouveau chantier suite à l'appel d'offres, rappelle Gilles Cros, chef de projet Génie civil Sud-Ouest chez Bonna Sabla, nous connaissions parfaitement le cahier des charges. On nous avait défini la forme de la face côté route, de celle du côté riverains, la performance acoustique à respecter, les couleurs et les dimensions. À partir de là, nous avons fait nos calculs de résistance et lancé la préfabrication des éléments de l'ouvrage." Ces éléments sont constitués de panneaux préfabriqués de 4 m de longueur et 2 m de hauteur, empilés sur deux niveaux et assemblés par des poteaux métalliques verticaux qui assurent la fonction de résistance structurelle et transmettent les efforts au sol. Les "plus" du nouvel ouvrage ? La mise en place de faux poteaux en béton beige et d'autres poteaux de même hauteur et de même couleur que les écrans absorbants, assurant une fonction purement esthétique. Le principe de panneaux "Artecran" va aussi être appliqué pour la nouvelle rocade de Castres (Tarn).

PHOTO: DR

Préfabricant: Bonna Sabla

#### POUTRES POUR UN OUVRAGE HYDRAULIQUE À LAVAU (TARN)

### → Poutres économiques

Construire un ouvrage hydraulique d'environ 40 m de longueur, d'une ouverture de 4 m et d'une hauteur intérieure de 4,50 m, destiné à supporter 9 m de remblais, tel était le défi technique imposé par la création d'une voie nouvelle reliant une route départementale et une nationale. Maître d'ouvrage, la commune de Lavaur, qui souhaitait un ouvrage rectangulaire et non en forme de voûte pour des contraintes de gabarit, en a confié la maîtrise d'œuvre à Sud-Ouest Infra, un bureau d'études toulousain qui s'est lui-même associé à la société Bonna Sabla. "Le problème des ouvrages fortement remblayés, c'est qu'ils sont très sollicités par le poids des terrassements qu'ils doivent supporter, et peu de structures résistent à ces pressions. Or, qui dit forte pression dit forte épaisseur de béton, quantité importante d'armatures, et donc coût élevé", résume Gilles Cros, chef de projet Génie civil Sud-Ouest chez Bonna Sabla. Pour réduire le coût, le principe de la poutre en T a été retenu. Une poutre peu gourmande en béton et en armatures, appliquée pour la première fois semble-t-il dans ces formes et avec de telles dimensions. "Les accès en pied du ruisseau étant difficiles, il fallait des éléments préfabriqués en béton relativement légers – les pièces les plus grosses font 13 t. On a réalisé des dalles et des piliers droits nervurés, avec un système de clavage en tête. C'est une construction de style Lego® : on empile les éléments, puis on assure le clavage avec des parties coulées en place qui tiennent l'ensemble." Les avantages ? Des installations de chantier réduites, une rapidité d'intervention qui minimise les nuisances vis-à-vis



des riverains et de l'environnement, et enfin une possibilité de mise en service très rapide de l'ouvrage. "C'est une solution technique sur laquelle on mise. Jusqu'à aujourd'hui, on ne répondait pas à des projets lorsqu'il y avait plus de 2 ou 3 m de remblai à supporter. Désormais, on sait qu'on peut aller plus loin."

PHOTO: DR

Préfabricant: Bonna Sabla

PAVÉ BÉTON DRAINANT, ENGAGONNABLE

## → Technique d'avenir

**"Les pouvoirs publics doivent désormais prendre conscience que traiter les eaux à tous les niveaux est indispensable. Il est nécessaire de trouver des solutions alternatives et de développer des techniques d'infiltration, de stockage ou au moins de ralentissement des effluents",** insiste Jean-Louis Couffignal, responsable commercial chez Simat. L'intérêt est majeur dans les régions fortement inondables comme le Languedoc-Roussillon, qui donne priorité à la lutte contre ce phénomène. **"Après avoir créé des surfaces étanches, on s'est rendu compte que les réseaux enterrés doivent être surdimensionnés, sous peine de subir des inondations."** Suite au rachat voici quelques années d'une licence allemande, la société rodézienne met en œuvre un pavé en béton drainant, engazonnable ou non, d'une épaisseur de 9 cm et d'une surface de 30 x 30 cm. Ce produit, testé au Cerib, présente des capacités d'absorption étonnantes, de l'ordre de 63 000 litres d'eau par hectare et par seconde, soit 6,3 litres d'eau par seconde par mètre carré ! Seule condition, créer sous ces pavés une structure creuse, constituée de granulats, capable de "digérer" cette masse d'eau et de la diriger, soit vers un fossé, soit vers un réseau d'assainissement ou une rivière. Simat a déjà posé plusieurs milliers de mètres carrés de pavés Univert. À Pezenas, le principe a aussi été utilisé



pour une piste cyclable servant de chaussée réservoir : constituée d'une épaisseur de 1 m de granulats (0/80) surmontée d'une couche de pavés, cette plate-forme réceptionne toute l'eau provenant de la route parallèle. **"C'est forcément une technique d'avenir",** conclut Jean-Louis Couffignal.

PHOTOS : DR

Préfabricant : Simat



RÉSERVOIR D'EAU POTABLE D'AVÈNE –  
SIVOM ORB ET GRAVEZON (HÉRAULT)

## → Trente jours chrono

**C**omment créer un grand réservoir d'eau potable en béton qui soit opérationnel rapidement et dont le montage, assez simple, s'affranchirait des intempéries ? Réponse : en faisant appel à la préfabrication. De par sa nature même, ce type d'ouvrage est implanté sur des hauteurs puisque le principe de fonctionnement est basé sur un système entraînant l'eau par gravité. La première des contraintes concerne donc bien souvent l'accès au chantier. Le choix de la préfabrication présente sur ce plan un grand intérêt. En quelques rotations – de deux à quatre selon la taille du réservoir –, un camion livre sur le site tous les éléments (murs et parties de coupole) préfabriqués au préalable en usine, qui sont assemblés à la grue. Deuxième avantage, et non des moindres, l'énorme gain de temps de mise en œuvre.

**"Un réservoir comme celui d'Avène, d'une capacité de 600 m<sup>3</sup>, est réalisé en six jours. Les maîtres d'ouvrage qui lancent la construction d'un réservoir veulent de l'eau tout de suite. S'ils lancent le chantier la première semaine du mois, ils peuvent l'avoir dès le 30!"** résume Jean-Louis Couffignal, responsable commercial chez Simat (voir ci-dessus), spécialiste de ces réservoirs "en kit". La coupole préfabriquée ne requiert, en outre, aucun appui intérieur. Calculé pour résister en zone sismique, le réservoir peut rester extérieur, être semi-enterré ou enterré et supporter, dans ce cas, jusqu'à 50 cm de terre, des calculs supplémentaires étant nécessaires pour une épaisseur de remblai plus importante. Simat, en collaboration avec un fournisseur, propose aussi une série de produits, joints et autres mortiers de scellement spécifiques à ce type de réservoir. Son catalogue comporte des volumes de 100 à 1 000 m<sup>3</sup>, soit de 8 à 16 m de diamètre intérieur. Vingt-trois réservoirs de ce type sont déjà installés dans les départements de la Lozère, de l'Aveyron, de la Haute-Garonne, du Gard, de



la Savoie et de la Haute-Savoie. Le plus haut culmine à 2 500 m dans la station des Arcs et sert de réserve d'eau pour les canons à neige artificielle.

PHOTO : DR

Préfabricant : Simat



# Vers les Pyrénées

## à grande vitesse

>>> LA LIAISON FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE PERPIGNAN-FIGUERAS, DESTINÉE AUX TGV, AUX TRAINS DE MARCHANDISES ET, À TERME, AU FERROUTAGE, ASSURERA LA CONTINUITÉ DU RÉSEAU TGV MÉDITERRANÉE AVEC LA FUTURE LIAISON MADRID-BARCELONE. GRÂCE À CETTE VOIE MIXTE D'UNE LONGUEUR TOTALE DE 44,4 KM, DONT 24,6 KM EN FRANCE, BARCELONE SERA À 5 H 30 DE PARIS EN 2009. OUTRE SON INTÉRÊT STRATÉGIQUE ET ÉCONOMIQUE, CETTE RÉALISATION EST UNE PREMIÈRE EN FRANCE DANS LE DOMAINE FERROVIAIRE AVEC UNE CONCESSION À UN GROUPEMENT PRIVÉ, DE LA CONCEPTION JUSQU'À L'EXPLOITATION, EN PASSANT PAR LA CONSTRUCTION.



1



2

La liaison ferroviaire à grande vitesse Perpignan-Figueras permettra non seulement des réductions importantes en temps de trajet entre les deux pays – par exemple Paris-Barcelone en 5 h 30 et Montpellier-Barcelone en 2 h 10 ou Perpignan-Barcelone en 50 minutes –, mais elle va aussi résoudre les problèmes de rupture de charge entre la France et l'Espagne, en éliminant les temps d'attente induits par le changement d'écartement des voies. De caractère mixte, la ligne favorisera et multipliera les échanges commerciaux et culturels entre l'Espagne, la France et le reste de l'Europe.

### chiffres clés

#### Pour la plate-forme France

- Déblais : **4 300 000 m<sup>3</sup>**
- Remblais : **3 700 000 m<sup>3</sup>**
- **4 viaducs ferroviaires**
- **2 sauts-de-mouton**
- **1 portique triple**
- **5 ponts à poutres préfabriquées**
- **13 cadres en béton armé**
- **9 ponts-route en dalle béton armé ou dalle béton précontraint**
- **61 ouvrages hydrauliques**
- Délais de réalisation : **60 mois**

Outre le tunnel du Perthus qui permet de franchir les Pyrénées – 7,3 km côté France et 1 km côté Espagne –, la section "aérienne" française, réalisée par Eiffage TP, comprend 39 ouvrages dont quatre viaducs totalisant 983 m – qui franchissent le Réart, l'autoroute A9 "la Catalane", la RN 9 et le Tech –, un saut-de-mouton pour l'inversion du côté de circulation des trains avec croisement dénivelé, ainsi que neuf ponts-route, cinq ponts-rails, cinq ponts à poutres préfabriquées, treize ouvrages hydrauliques et un ouvrage dit multicadre. La grande particularité de ce tronçon, c'est sa mixité : des TGV pouvant rouler à 350 km/h, des trains de voyageurs classiques et des convois de fret à 100 ou 120 km/h. Cette cohabitation sera une première sur le réseau à grande vitesse français.

### Limiter l'impact environnemental

La liaison Perpignan-Figueras, et plus particulièrement la section française Perpignan-Le Perthus, traverse, depuis la vallée du Tech au nord jusqu'à la chaîne des Albères au sud, la plaine du Roussillon composée de grands espaces agricoles aux reliefs adoucis. Cette séquence est tra-

- >>> **1** Le tracé de la ligne est, en général, éloigné des zones urbaines. **2** Le viaduc du Tech est un ouvrage à tablier mixte dont les piles sont en béton armé. **3** Les piles des grands viaducs sont de forme octogonale, avec une modénature du chevêtre légèrement sculptée. **4** Les tabliers des ponts-cadres sont constitués de poutres préfabriquées en béton. **5** Les têtes des avant-tunnels comportent une coque sobre de béton percée en partie haute d'ouvertures rectangulaires.

versée par quatre cours d'eau principaux : la Basse, la Canterrane, le Réart et le Tech, et dotée d'un maillage d'infrastructures routières important – la route de Prades, la voie urbaine de Prades à Thuir, une dizaine de voiries communales et départementales ainsi que l'autoroute A9.

Le nouveau tronçon a été conçu en tenant compte de l'environnement ; il est, en général, éloigné des zones urbaines. Le tracé et les adaptations du projet ont permis d'éviter les zones les plus sensibles, comme les zones boisées et les aires présentant un intérêt particulier pour leur flore et leur faune, et de minimiser ainsi les impacts possibles sur les zones traversées.

Après examen des contraintes environnementales, TP Ferro a pris des mesures concernant aussi bien la phase de travaux que la phase d'exploitation. Ainsi le concessionnaire s'est-il engagé dans une démarche volontariste de respect de l'environnement dans son sens le plus large, démontrant à cette occasion que

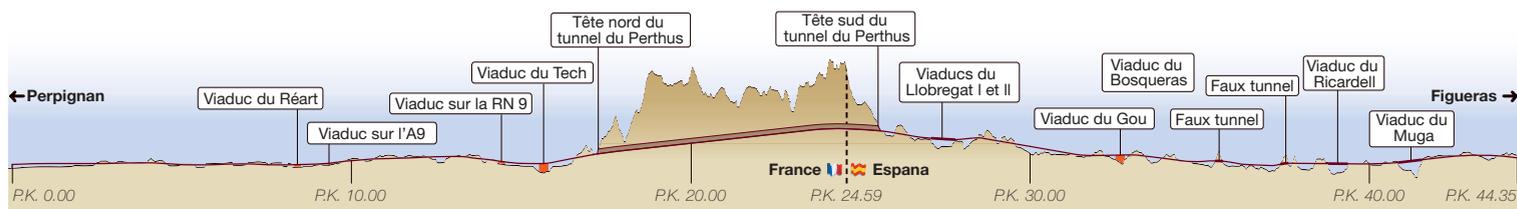
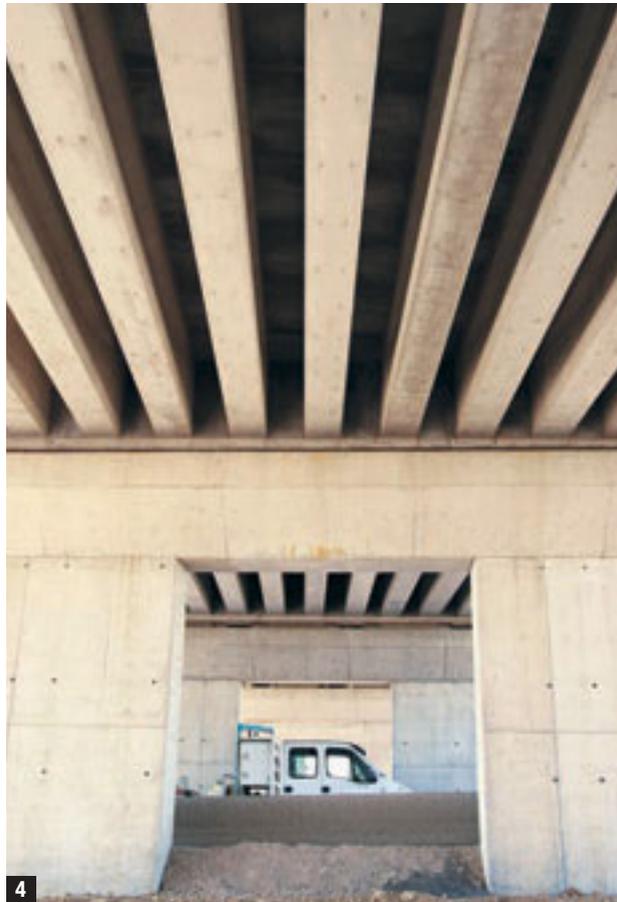
la préservation du milieu naturel et de ceux qui l'habitent n'est pas incompatible avec un projet de grande envergure comme celui-ci.

### Objectif centenaire

Les ouvrages les plus importants concernent essentiellement les franchissements hydrauliques ainsi que le rétablissement des voies existantes, mais également le "saut-de-mouton".

Ils s'appuient tous sur des fondations superficielles, à l'exception du viaduc sur l'A9 dont les piles reposent sur des pieux d'une longueur variant entre 10 et 20 m. Ceci correspond par ailleurs, et compte tenu de la nature favorable du sous-sol pour ce type de fondations, à une volonté de mettre en œuvre des solutions fiables et éprouvées dans une optique de durabilité pour une réalisation conçue comme centenaire.

Au départ du tronçon, au sud de Perpignan, les travaux sont consacrés essen-



tiellement aux raccordements avec les installations existantes de RFF (Réseau ferré de France) et comprennent, outre le déplacement de certaines voies, la création de plusieurs voies nouvelles. Au-delà, ils concernent la construction vers le sud de 17,3 km de ligne à grande vitesse dans l'attente du projet de prolongation en direction de Nîmes.

Les travaux ont démarré en mai 2005, après une phase d'études entamée en février 2004. Les terrassements seront définitivement achevés en avril 2007. Les matériaux manquant sur le tracé sont essentiellement des granulats drainants de forte granulométrie avec faisceau discontinu pour les zones humides et les zones inondables en partie basse de la plate-forme, et des granulats de carrière, essentiellement des calcaires, pour la couche de forme.

Les ouvrages hydrauliques dont l'ouverture est inférieure à 5 m sont pour la plupart du ressort des entreprises de terrassement, alors que tous les autres

relèvent de la compétence des entreprises de génie civil. Au total, on compte 39 ouvrages, dont 13 ouvrages hydrauliques significatifs. Les rétablissements de communication sont au nombre de 26, ce qui correspond à une moyenne sensiblement supérieure à ce que l'on rencontre généralement sur un chantier autoroutier ou ferroviaire. Soit une soixantaine d'ouvrages sur une trentaine de kilomètres.

### Au total, 63000m<sup>3</sup> de béton

Les bétons sont fabriqués dans une centrale dédiée au chantier, d'une capacité opérationnelle de 40 m<sup>3</sup>/h. Les bétons des piles sont de classe de résistance C35/45, tandis que les bétons des parties en élévation et des dalles sont de classe C32/40. Pour les 82 pieux de fondation de l'ouvrage de franchissement de l'autoroute A9, les bétons sont de classe de résistance C32/40 et font appel à un ciment PM ES. Le volume

## organisation

### Une concession inédite pour un projet ferroviaire

En décembre 2003 les gouvernements français et espagnol confiaient à TP Ferro la concession pour la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de la section Perpignan-Figueras de la ligne ferroviaire à grande vitesse pour une période de 50 ans. Cette liaison s'inscrit dans le cadre d'un projet prioritaire des réseaux transeuropéens, "Axe ferroviaire à grande vitesse du sud-ouest de l'Europe".

C'est la deuxième fois en Europe, après le tunnel sous la Manche, que des États confient la concession d'un ouvrage binational à un groupement privé, en l'occurrence TP Ferro, filiale des groupes espagnol ACS et français Eiffage. Les deux groupes sont actionnaires chacun à 50 % de la société. Le groupement percevra une redevance – calculée en fonction du type de trains, du nombre de voyageurs, des tranches horaires et des charges transportées – pour l'exploitation de la ligne. L'organisation du groupement est complexe. La structure de tête, Trans Euro Pyrénées (TEP) AEIE, agit comme mandataire et se charge de la coordination de l'ingénierie et de la maîtrise d'œuvre intégrée. Dans ces attributions de coordination de l'ingénierie, TEP effectue la direction de l'ingénierie de conception tandis que chacun des groupements responsables de lots assume la direction de l'ingénierie de détail des travaux qui le concernent. Les responsables du projet de détail et de l'exécution des travaux des plates-formes extérieures sont les entreprises constructrices.

# P

## ropos de l'architecte Fabrice Neel

« Nous racontons une histoire dont l'effet sera complété par un apport de végétation en pied, effet qui renforcera l'identité de la ligne tout en utilisant le vocabulaire régional existant. »

Le cabinet Architecture Neel, à qui l'on doit déjà le viaduc de Jaulny sur la future LGV Est ainsi que plusieurs ouvrages de l'autoroute A85, s'est vu confier la conception architecturale et, notamment l'insertion dans l'environnement de l'ensemble des ouvrages de la section française de la LGV Perpignan-Figueras.

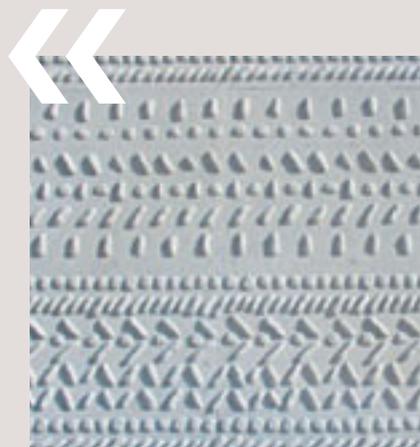
Le cahier des charges très précis définissait les gabarits techniques des ouvrages par familles et par structures, y compris pour les viaducs sur le Tech et le Réart et les franchissements de l'A9 et de la RN9. Sur cette base, la reconnaissance du terrain a conduit Fabrice Neel et son équipe à définir un parti d'aménagement respectant l'ambiance des territoires traversés décryptant leur organisation en termes de lignes et de volumes à travers, entre autres, l'inventaire des sites et points sensibles, l'examen de la morphologie générale du tracé et des matériaux des ouvrages d'art et des éléments techniques inhérents à la ligne.

*“Sur les viaducs du Tech et du Réart, dont l'un est pratiquement collé au sol et l'autre à une hauteur de 23 m, nous avons joué sur les facettes des appuis et des corniches afin de mettre en valeur le béton. Nous avons travaillé sur la masse elle-même, en concevant des piles cylindriques dont le fruit diminue vers le haut pour accentuer la perspective. Un fût unique et un chevêtre le plus épuré possible reprennent les poutres du tablier, avec une coloration dans les gris gravier correspondant aux granulats régionaux. Généralement, les corniches et les corniches-écrans sont en béton lisse, des joints creux permettant de travailler la ligne horizontalement. Notre travail a été axé sur l'aspect ombre-lumière.”*

Pour les ouvrages courants, Fabrice Neel a créé une matrice spécifique qui confère une identité à la ligne: *“Pour les ponts-rails, les murs intérieurs des cadres*

*et les murs de retour ont été travaillés avec un motif de galets, dont nous avons retrouvé le principe exprimé dans l'habitat local. La matrice a été réalisée en atelier à partir de galets coupés en deux, avec un dessin conçu de telle sorte qu'un enchaînement soit possible entre les différents panneaux jointifs. Ce dessin présente par ailleurs l'avantage, du fait de son relief, d'éviter les tags.”* Deux types d'écran acoustique, sur 4 m de hauteur et plusieurs centaines de mètres de longueur, ont été dessinés. Lisses ou matricés, ils créent des variations sur les grands linéaires en évitant la répétitivité.

*“Nous racontons ainsi une histoire dont l'effet sera complété par un apport de végétation en pied, effet qui renforcera l'identité de la ligne tout en utilisant le vocabulaire régional existant.”* Un travail identique au niveau du matricage est réalisé sur les ouvrages techniques tels que les transformateurs, les postes relais, les locaux de sécurité... ■



6

total de béton des 39 ouvrages d'art est de 63 000 m<sup>3</sup>. Un volume auquel il faut encore ajouter les bétons des corniches et des écrans acoustiques préfabriqués. Le sens de circulation des rames, à gauche en France et à droite en Espagne, est rétabli du côté français car le relief y est moins accentué que du côté espagnol.

### Les sauts-de-mouton

Sur un tronçon de près de 3 km est implanté un ouvrage de 234 m de longueur, dit "saut-de-mouton", prolongé de part et d'autre par des murs de soutènement de plus de 230 m, soutenant le remblai ferroviaire. Il s'agit d'un cadre en béton armé. L'effet de piston engendré lors du passage des rames à grande vitesse est neutralisé par de grandes ouvertures ménagées dans les piédroits. Le cadre du saut-de-mouton est coulé en place par plots de 13,50 m à l'aide d'un coffrage métallique qui se déplace sur une dalle définitive réalisée dans une première phase et qui servira de support aux appareils de voie. Un second saut-de-mouton, également constitué d'un cadre en béton armé, long de 70 m, permet à la nouvelle plate-forme de franchir la voie de raccordement à la gare de Perpignan.



>>> **6** Les murs intérieurs des cadres sont travaillés avec un motif de galets. **7** Le grand saut-de-mouton a une longueur de 234 m. **8** L'effet de piston engendré dans le saut-de-mouton est neutralisé par de grandes ouvertures.

Il est prolongé par des murs de soutènement de 63 m au nord et de 89 m au sud. Un ouvrage appelle un commentaire particulier : il s'agit du pont-cadre de la RD 618, situé à proximité de la tête nord du tunnel du Perthus. D'une longueur de 52 m et d'une largeur de 33 m dégagant un passage libre de 7,50 m, il permet le franchissement de la nouvelle ligne en trois largeurs de 8,80 m, 15,00 m et 8,80 m suivant un biais important. Cet ouvrage s'insère dans une zone du tracé où la ligne s'élève sur un remblai de 15 m de hauteur. Le tablier est constitué de trois portiques élémentaires. La traverse du portique est constituée d'une structure en poutres préfabriquées en béton armé en T inversé posées côte à côte qui ont servi de coffrage lors du bétonnage de la dalle de superstructure. Ce pont-cadre supporte des charges de remblai exceptionnelles.

### Les viaducs du Réart et du Tech

Longs respectivement de 180 m et 392 m, les viaducs du Réart et du Tech sont des ouvrages à tablier mixte béton-acier

dont les piles sont en béton armé. Pour réduire l'impact des appuis sur l'écoulement des eaux en rivière, les piles du Réart sont de type "marteau" ce qui permet, grâce à leur chevêtre, d'affiner considérablement leur fût. Le chevêtre est légèrement creusé au niveau de ses "joues" pour faire ressortir la forme stylisée du tablier vu en coupe, mais aussi pour créer une modénature qui anime le franchissement par un jeu d'ombre et de lumière. Les fûts des piles sont de forme octogonale avec un fruit de 3 % pour "vivre" avec la lumière, et proche du cercle pour favoriser l'écoulement des eaux et prendre en compte les contraintes hydrauliques. Le viaduc du Tech présente des dispositions architecturales similaires.

Pour les corniches en béton des ponts-rails, la volonté de l'architecte d'élaborer un dessin unique l'a conduit à retenir une solution susceptible d'évoluer en fonction des besoins, avec entre autres des hauteurs différentes selon le degré de nuisances sonores. Ces corniches se décomposent en deux éléments distincts : la partie supérieure est inclinée

vers le ciel et sert de garde-corps et de garde-ballast suivant le type d'ouvrage ; le pied est en retrait, dans l'ombre, incliné en symétrie de la face haute, ce qui permet de masquer le tablier et éventuellement le passage des descentes d'eau. L'opposition de ces deux éléments est renforcée par une engravure prononcée qui souligne d'un trait sombre la silhouette de la corniche.

Pour l'ensemble des rétablissements de route en passage supérieur, des corniches spécifiques, également en béton, reprennent le dessin des corniches des ponts-rails. L'utilisation d'un élément en béton préfabriqué, en effet, a été préférée à l'installation d'une corniche en acier pour des raisons de facilité d'entretien et de cohérence dans le traitement.

La géométrie des écrans acoustiques découle de celle des corniches, créant une continuité architecturale et acoustique. Le parement reprend le dessin des galets utilisés en fond de coffrage. Les modules ont une largeur constante de 4 m avec une hauteur variable de 1,50 m à 2 m au-dessus des voies. ■

TEXTE : MARC MONTAGNON

PHOTOS : FABRICE NEEL ET

1 ET 2 FRÉDÉRIC HÉDELIN – 4 ET 5 RÉGIS

BOUCHU/ACTOPHOTO – 3, 6, 7 ET 8 DR



**Maître d'ouvrage et concessionnaire :**  
TP Ferro (ACS, Eiffage)

**Assistance technique :**  
Systra, Typsa

**Groupeement construction, exploitation, entretien :**  
Trans Euro Pyrénées TEP AIEI  
(Dragados, Eiffage TP, Cobra, Forclum)

**Maîtrise d'œuvre :**  
Ingérop, Sener, Arcadis

**Ingénierie :**  
groupeement Sener, Ingérop, Arcadis, Tuc-rail

**Étude des travaux extérieurs de la plate-forme France :**  
Ingérop

**Architecte :**  
Architecture Neel

**Coût :**  
**180 M€ HT**  
(plate-forme France)



## → Une digue s'élançe entre mer et océan

À Tanger, aux confins de la Méditerranée et de l'Atlantique, une vaste infrastructure portuaire prend forme. Réalisée par Bouygues TP, la première phase du projet s'achève. Son point d'orgue : une digue en deux parties, l'une classique – digue à talus en enrochement –, l'autre beaucoup moins...

### chiffres clés

- Volume de béton des caissons : **116 000 m<sup>3</sup>**
- Durée de vie de la digue : **100 ans**
- **39 caissons quadrilobés et 1 caisson bilobé**
- Poids d'un caisson : **9 200 t**

Le projet stratégique de développement du nord du Maroc démarre en 2003. L'objectif est d'équiper en infrastructures cette région jusque-là délaissée, en la dotant d'un port capable d'accueillir des navires porte-conteneurs et des céréaliers. Une aire de protection doit être constituée qui va isoler une zone de mer entre le rivage et une digue à construire. La première étude technique a porté sur le contexte : étude du fond marin (impératif de stabilité) et

étude de l'orientation des courants (très importants dans cette zone), la structure devant aussi résister à une tempête centennale. L'idée première du maître d'ouvrage TMSA est celle d'une digue à talus. Le groupement SRPTM (Bouygues TP et Saipem) lui propose une variante constituée d'une digue principale longue de près de 1 000 m, prolongée par une structure en caissons en béton. Principaux avantages : une emprise au sol limitée, une moindre

quantité de matériaux à mettre en place, un moindre coût, et de meilleures conditions d'accès pour les navires. Cette digue se compose d'un assemblage de caissons en béton : des cylindres creux de 28 m de diamètre environ pour 35 m de hauteur et d'un poids de 7 900 t. Mais le béton armé suppose des contraintes différentes de celles de l'enrochement : il fallait prouver au maître d'ouvrage qu'il est capable d'endosser les contraintes sans risque de corrosion des armatures.

### Construction par étapes

La construction, du fait du poids et du volume des caissons, s'effectue en plusieurs étapes. D'abord une préfabrication à terre de la partie inférieure (9 m

## composition du béton

- Partie inférieure des caissons : **CEM II/A 42,5 N PM ES** (dont 18 % de cendres volantes)
- Partie supérieure : même composition, avec **ajout de 5 % de fumées de silice** pour un béton plus compact.
- Dosage en ciment : **480 kg/m<sup>3</sup>**

Dans les deux cas, le rapport eau efficace/liant équivalent est inférieur à 0,35. Des simulations de formulation ont été menées au laboratoire de Chilly-Mazarin pour adapter les formulations aux conditions climatiques et satisfaire aux critères de perméabilité aux ions chlorure et de compacité, suivies d'essais sur site pour valider le process.

de hauteur, 3 200 t), suivie d'un transport sur rails jusqu'à un ber (structure métallique de mise à l'eau). Le caisson est ensuite acheminé par flottaison jusqu'à un quai de rehausse où se poursuit l'exécution (plus 15 m, soit 6 000 t).

## Des voiles "Jarlan" pour casser la force de la houle

Intervient ensuite une nouvelle étape de transport par flottaison jusqu'à la position définitive. Une fois le caisson échoué en place et rempli de sable, on construit la dalle et les voiles de type "Jarlan" dont les ajournements vont permettre de casser la puissance de la houle (plus 11 m, 7 600 t). L'étape est délicate : on est à quelques mètres seulement au-dessus de l'eau et il est très difficile de travailler en cas de tempête. Pour limiter le tassement sur le fond, les caissons sont assemblés par des "chaussettes" qui font également fonction de clavettes (qui cassent à la place du caisson en cas de problème). La maîtrise de la durabilité du béton est évidemment cruciale en environnement marin. Le problème est celui de la pénétration des ions chlorure, sachant que la situation est différente

entre la partie émergée, la partie immergée et la partie correspondant à la zone de marnage. La première solution est d'augmenter l'enrobage des armatures. La seconde consiste en une protection "cathodique" des bétons.

Au total, 40 caissons (39 caissons quadrilobes et un premier caisson bilobe) ont été réalisés, constituant une digue de 1 100 m de longueur. Le béton, coulé dans des coffrages glissants d'une hauteur de 1,20 m, doit offrir une plasticité qui permette une mise en place aisée, d'où une optimisation de la formulation et l'emploi d'un adjuvant superplastifiant rétenteur d'eau.

## Béton... sur glaçons

La température du béton à la mise en place doit être inférieure à 25 °C. En cas de chaleur (fréquente au Maroc), la température initiale du béton frais doit être abaissée. Les constituants du béton sont refroidis avec une eau à 4 °C, les granulats sont protégés des rayons solaires, et des paillettes de glace sont substituées à l'eau si la chaleur est très forte. Le béton est acheminé sur place par camion toupie, à partir d'une centrale à béton située au bout du quai.

Les granulats sont concassés sur place. Une carrière a donc été ouverte pour l'occasion qui produit des granulats calcaires adaptés aux spécifications. Une double difficulté qui n'a pas entravé le déroulement des travaux, la livraison du port devant intervenir en 2007.

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : VÉRONIQUE PAUL

### Maître d'ouvrage :

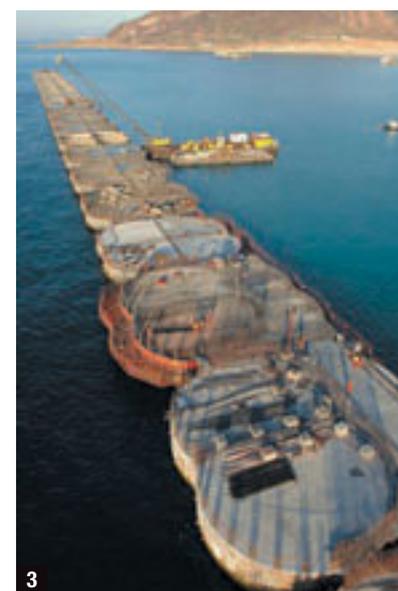
ASTM (Agence spéciale Tanger Méditerranée)

### Groupe d'entreprises :

Société de réalisation du port de Tanger Méditerranée (Bouygues TP/Saipem/Bymaro)

### Coût :

255 M€ HT



1 Le caisson est acheminé par flottaison jusqu'à un quai de rehausse où se poursuit l'exécution. 2 et 3 Au total, 40 caissons forment une digue de 1 100 m de longueur.

## technique

## Protection cathodique

Les ions chlorure qui parviennent jusqu'aux armatures risquent d'entraîner leur corrosion. Une protection dite "cathodique" permet d'inverser le phénomène. Le principe est de "passiver" le métal à partir d'une anode installée dans le même électrolyte. Une anode dont le potentiel est plus électronégatif que le métal à protéger (anode sacrificielle), ou bien une anode couplée à un générateur de tension électrique continue (méthode à courant imposé).

Ici, des rubans de métal connectés aux armatures sont placés à l'extérieur de l'ouvrage pour servir de "source d'ions". Sous l'effet du champ électrique mis en place, une anode tubulaire sacrificielle, située en partie inférieure du caisson, est attaquée par la corrosion. En partie supérieure, le champ électrique repassive l'armature. Un système de capteurs règle la mise en fonction du système selon le degré d'attaque des armatures.



# Un tube double étage pour boucler la boucle

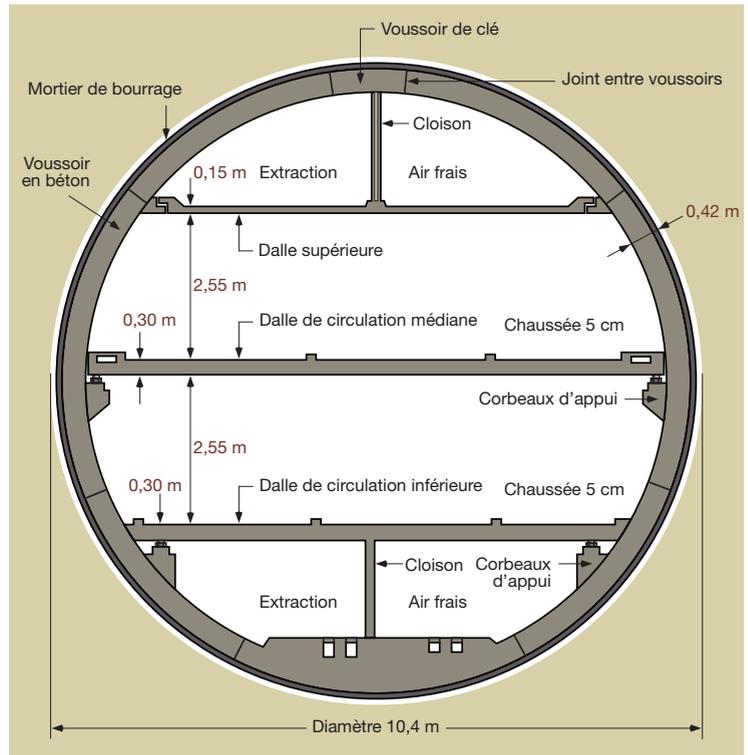
>>> UNE SECONDE BOUCLE SE REFERME AUTOUR DE LA CAPITALE AVEC LA RÉALISATION DU DERNIER TRONÇON DE L'A86, DEMEURÉE INCOMPLÈTE, JUSQU'ALORS, DANS SA PARTIE OUEST. LA VOIE RAPIDE SOUTERRAINE RÉSERVÉE AUX VÉHICULES LÉGERS RELIANT RUEIL-MALMAISON ET LE PONT COLBERT, NON LOIN DE JOUY-EN-JOSAS, EST MAINTENANT ACHÉVÉE. L'OUVRAGE A REQUIS DES MOYENS EXCEPTIONNELS, DURANT NOTAMMENT LA PHASE DE GÉNIE CIVIL OÙ LA RÉALISATION DES STRUCTURES INTERNES A MOBILISÉ TOUT LE SAVOIR-FAIRE DU GROUPEMENT D'ENTREPRISES. LA MISE EN SERVICE INTERVIENDRA AU PLUS TARD AU DÉBUT DE L'ANNÉE 2010.

On a coutume de considérer l'A86 comme un "second périphérique" autour de l'agglomération parisienne. Et l'on a tort, du moins pour l'instant. Il manque, à l'ouest, 10 km à cette rocade construite à 15 km du centre de Paris pour que l'anneau, actuellement long de 70 km, soit complet. Les deux raccords manquants sont en cours de construction : le premier entre Rueil-Malmaison et le pont Colbert, près de Jouy-en-Josas, réservé aux véhicules légers, l'autre au départ de Rueil également jusqu'à l'autoroute A12, derrière le parc de Versailles, et accessible aux camions. Sur ces deux parcours qui voient défiler du nord au sud un trafic routier disproportionné avec les capacités existantes, seront en service, au plus tard début 2010, deux tunnels de circulation rapide. Outre la volonté d'offrir un nouvel axe de transport plus sûr aux automobilistes, l'objectif de l'État, qui a concédé le projet à Cofiroute, est au moins triple. Il s'agit à la fois de réduire le temps de parcours (il faut actuellement 40 min en moyenne pour effectuer 10 km), de diminuer de 15 % le trafic des voies de surface existantes, et plus globalement de préserver le cadre de vie des riverains.

"Les tunnels sont la politesse des villes", affirme plaisamment André Broto, directeur de la construction de Cofiroute. Sans doute, mais cette option a longtemps été ignorée par les concepteurs urbains. Certes ces derniers, en l'occurrence les services du ministère de l'Équipement, possédaient déjà, dans les années 70, l'expérience de courts tunnels destinés à accueillir des véhicules légers. Mais le projet proposé par Cofiroute à la fin des années 80 était d'une ampleur jamais envisagée. Il y était question d'une structure inédite : la superposition des deux chaussées dans un seul tube en lieu et place de la construction de deux tubes pour permettre la circulation dans les deux sens. Il s'agit donc d'un nouveau concept d'infrastructures de transport qui comprend néanmoins, comme les autres solutions, son lot de contraintes et de problèmes techniques à résoudre.

### Projet hors norme

La section dévolue aux véhicules particuliers entre Rueil-Malmaison et Jouy-en-Josas étant un projet totalement novateur, les normes techniques existantes ne pouvaient être appliquées. Des commissions spécifiques des ministères de l'Équipement et de l'Intérieur ont donc, dans un premier temps, été chargées de valider les nouvelles exigences à établir. Cela notamment en matière de caractéristiques géométriques (pentes, rayons et largeur des



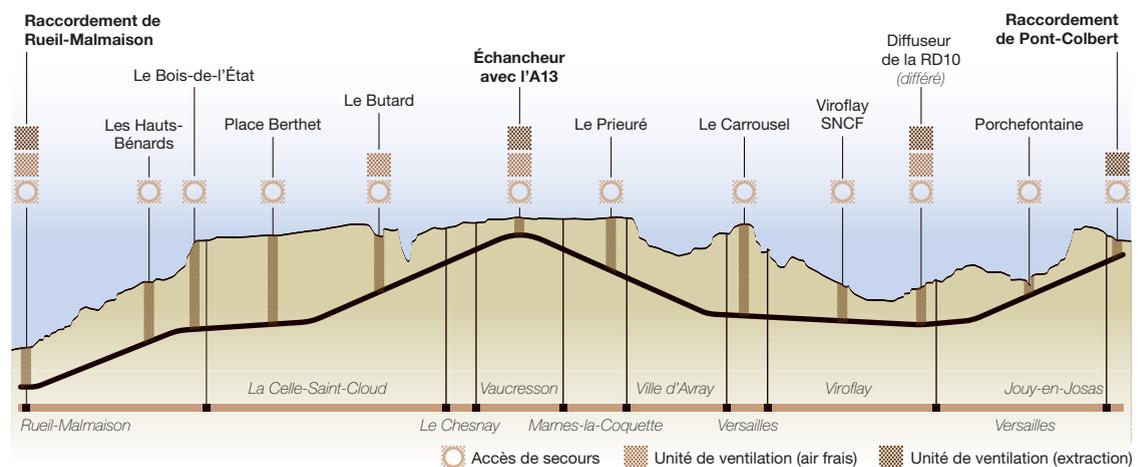
>>> La structure du tunnel est composée d'anneaux universels d'une largeur de 2 m et de 42 cm d'épaisseur. Préfabriqués en béton armé et d'une résistance de 50 MPa, ils sont composés de sept voussoirs (cinq voussoirs courants et deux contre-clés) et d'une clé.

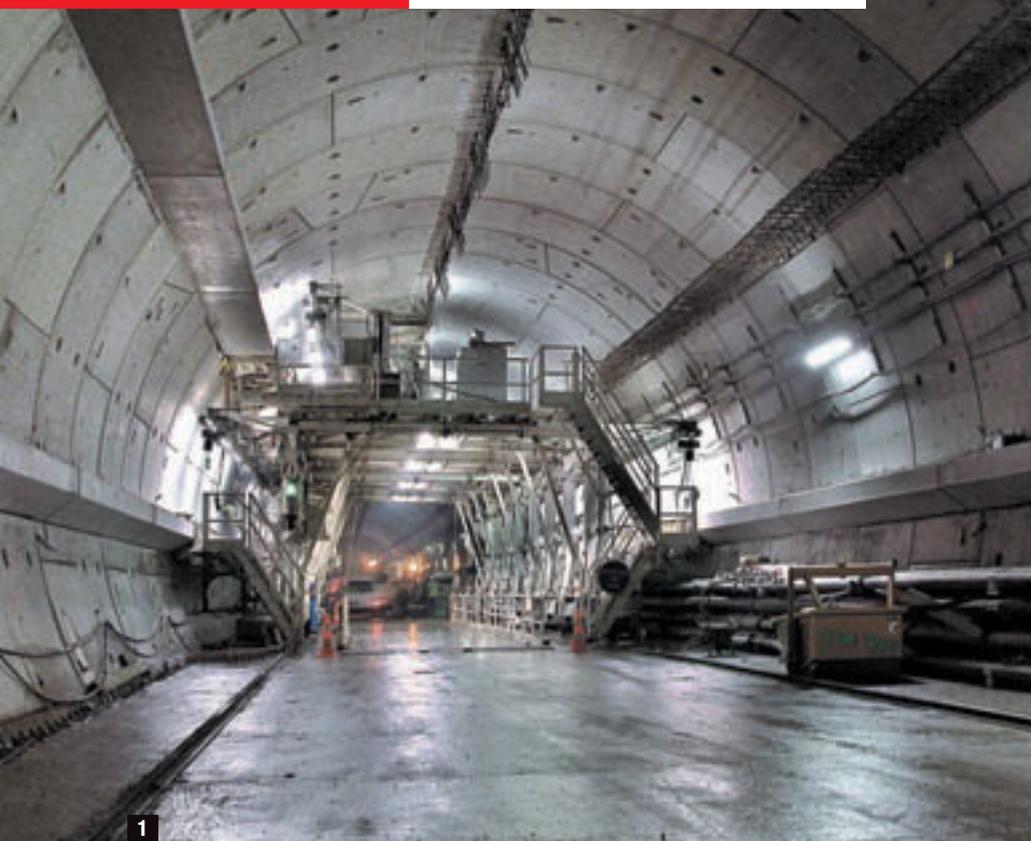
voies selon les vitesses prévues), de signalisation et de sécurité (modalités d'intervention des secours et facilité d'accès, ventilation, désenfumage, etc.). Au bout du compte, ce tunnel de 10 km creusé à 70 m de profondeur, dit "tunnel principal", est donc conçu pour accueillir 2x3 voies sur deux niveaux et s'avère uniquement réservé aux véhicules de moins de 2 m de hauteur. Mais dans un

premier temps, il ne sera exploité qu'à 2x2 voies. Sa pente est limitée à 4,5 %, les rayons à 800 m en plan et à 6 000 m en profil en long et le dévers à 2,5 %. Le tunnelier a achevé le creusement de ce tunnel dit VL 1 le 14 octobre 2003 (et a repris son parcours sur le tunnel VL 2 à la mi-2005). Les travaux de réalisation des 31 niches de sécurité et des 4 puits de secours et de ventilation se sont quant à

### chiffres clés

- Béton : **30 000 m<sup>3</sup>**
- Radier : **C 35/40**
- Cloison basse : **C 35/40 autoplaçant**
- Dalle basse/dalle médiane/dalle haute : **C 50/60**
- Cloison haute : **C 50/60 autoplaçant**
- Armatures : **5 000 t**
- Cadences de réalisation : **24 ml/jour**
- Capacité de l'ouvrage : **50 000 véhicules/jour**
- **11 ateliers** ont réalisé les travaux, ce qui représente l'équivalent d'un train de travaux de **1 250 m de longueur**





1



2

## technique

## Le creusement au tunnelier et la pose des voussoirs en béton

**Un enchevêtrement de sols calcaires et marmo-calcaires, durs, de couches argileuses et de sables de Fontainebleau : c'est la nature diversifiée des terrains traversés qui a motivé le choix d'une machine de creusement "tout terrain". D'un poids total (bouclier et train suiveur) de 2400 tonnes, ce tunnelier à boues a posé au fur et à mesure du forage le revêtement du tunnel. En alternant cycles d'excavation et cycles de pose des voussoirs assemblés en anneaux qui constituent le revêtement, l'énorme engin a permis à Socatop de tenir une appréciable cadence de travail.**

**Chaque anneau du revêtement est composé de huit voussoirs (de 10,4 t chacun) en béton armé de 2 m de large et 42 cm d'épaisseur. Les voussoirs sont acheminés à l'intérieur du tunnelier par des trains sur pneumatiques, puis récupérés à l'avant par l'érecteur de voussoirs qui les met en place à l'abri de la jupe métallique du tunnelier. Quand un anneau est mis en place, la machine avance en prenant appui sur lui au moyen de ses 42 vérins de poussée. Le vide restant entre le revêtement et la l'excavation est comblé ensuite par un mortier de bourrage pendant la phase de forage des 2 m suivants.**

eux terminés au printemps 2006. La phase principale de construction du génie civil intérieur du tunnel a démarré en parallèle, début 2005. Originalité de ces travaux : ils ont en fait engendré trois chantiers au lieu d'un. En dehors du creusement, l'exécution des niches et des

puits répartis tout au long de l'ouvrage a déjà constitué un deuxième chantier à part entière. Par leur nombre, leur importance et la diversité des terrains dans lesquels ils sont implantés, ces ouvrages ont mobilisé des moyens et une énergie comparables à ceux mis en œuvre pour le tra-

vail du tunnelier. Par ailleurs, le tunnel étant à deux niveaux de circulation superposés, c'est en fait deux chantiers de génie civil qu'il a fallu exécuter à l'intérieur d'un seul tube.

### Six sections, trois dalles et deux cloisons

Eu égard à ses structures internes, le tunnel est divisé en six sections : deux espaces "trafic" (de 25 m<sup>2</sup> chacun environ), une gaine "d'air frais" et une gaine "d'extraction" pour chacun des deux espaces (de 6 m<sup>2</sup> chacune environ). L'équipe de Patrice Bony, responsable de la construction du tunnel VL 1 de Socatop (Société de construction de l'auto-route de traversée de l'Ouest parisien), le groupement d'entreprises de travaux, a donc eu à construire trois dalles et deux cloisons. Soit une dalle basse sur laquelle s'écoulera le trafic de l'espace inférieur, qui a 30 cm d'épaisseur et une portée de 7,70 m entre ses appuis ; une dalle médiane servant de plafond à l'espace trafic inférieur et de dalle de roulement pour l'espace trafic supérieur (30 cm d'épaisseur et une portée de 10 m environ entre appuis). Puis également une dalle haute servant de plafond à l'espace

trafic supérieur. Celle-ci a 15 cm d'épaisseur pour une portée de 8 m environ. Une cloison basse sépare, sous la dalle basse, les gaines de ventilation de l'espace trafic inférieur. Elle fait 15 cm d'épaisseur et environ 2 m de haut. Enfin, une cloison haute, épaisse elle aussi de 15 cm, sépare de même les gaines de ventilation de l'espace trafic supérieur. La réalisation de ce génie civil a nécessité l'exécution préalable de travaux de scellement, la réalisation de longrines ou corbeaux et de divers ouvrages d'appui.

### Des bétons très spécifiques

Mais surtout, la mise au point de la formulation des bétons a requis un soin tout particulier. Tous présentent des spécifications d'un niveau élevé. Ces bétons se devaient bien sûr d'être performants mécaniquement (une majorité de classe de résistance C 50/55), mais aussi résistants aux diverses agressions. Par ailleurs, ils devaient atteindre des résistances élevées à très court terme tout en conservant une bonne ouvrabilité. L'aide du laboratoire du chantier et des experts internes des sociétés du groupement Socatop (Eiffage TP, Vinci et Colas) a été



3



4

>>> **1** État des travaux en octobre 2005. Les corbeaux des dalles médianes et hautes (au fond) sont déjà en place, ainsi que leur portique de coffrage.

**2** À la même date, vue du PM 300 vers Rueil. Au premier plan, la dalle et les cloisons hautes ; au fond, le début de la construction de la dalle médiane.

**3** Gaine d'extraction de l'air côté est. Le tunnel est relié à la surface pour évacuer l'air tous les kilomètres en moyenne. **4** Le tube en décembre 2005 avant le début de la construction des dalles supérieure, médiane et inférieure.

sollicité en la matière, ce qui a contribué à la mise au point rapide de formules performantes.

Si l'on analyse le bétonnage de l'ensemble des dalles, l'on se rend compte que les techniques utilisées s'adaptent aux contraintes d'exécution. La dalle basse a été réalisée derrière le train suiveur du tunnelier. Un coffrage-outil métallique, de 60 ml de long environ, permettait la réalisation des longrines latérales, des bossages d'appui et le clavage latéral et longitudinal des éléments de dalle. Ces dalles en béton, préfabriquées sur le site, ont une longueur de 2,8m, une largeur de 8 m et pèsent près de 16 tonnes. Leur mise en place ainsi que l'approvisionnement des différents postes de travail étaient assurés par un portique de manutention circulant sur des rails fixés aux voussoirs constituant le revêtement du tunnel.

Le radier et la cloison basse ont été coulés au moyen de deux coffrages-outils de 24 ml chacun. L'approvisionnement du béton (autoplaçant pour la cloison) a

été réalisé grâce à l'aménagement de réservations dans la dalle basse, permettant le passage des conduites alimentant le béton.

Le deuxième atelier a permis la réalisation de la dalle et de la cloison haute. "Afin de limiter les interfaces et donc de fiabiliser les cycles de coffrage et de bétonnage, il a été décidé de dissocier le poste de ferrailage", précise Patrice Bony. Il a été mis en place entre l'atelier des corbeaux et l'atelier de coffrage de la dalle haute, à l'aide d'un portique de ferrailage surnommé "Popeye" par les compagnons en raison de son bras "musclé". Les éléments en béton préfabriqués sur le site ont été déchargés grâce à ce bras depuis les remorques de transport et positionnés sur la table de ferrailage, l'assemblage étant assuré par les armaturiers sur la table. Les cages d'armatures ont ensuite été suspendues à la voûte du tunnel par des palans fixés aux inserts des voussoirs. Enfin, l'atelier consacré à la dalle haute a été l'occasion des travaux les plus spectaculaires, avec

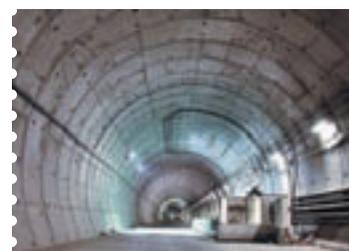
cinq jeux de 24 ml de tables de coffrage, soit 120 ml de long. Ce nombre important de coffrages a été rendu nécessaire par les contraintes de résistance à atteindre pour pouvoir décentrer les tables. La dalle est mince (15 cm) mais dotée de surépaisseurs au niveau de son appui sur le corbeau ouest et de son encastrement côté est. Une amorce est également coulée avec la dalle pour la jonction avec la cloison haute, réalisée avec un béton autoplaçant.

### Transfert par chariot des tables de coffrage

Le recyclage des tables s'effectue par éléments de 12 m, il est réalisé à l'aide d'un chariot automoteur permettant le décoffrage, le transfert sous les tables en place et le recoffrage en aval des tables de coffrage. Les tables prennent appui sur les corbeaux de la dalle médiane et non sur la dalle basse pour éviter les vibrations sur cette dernière lors du passage des toupies à béton desservant la dalle médiane, mouvements incompatibles avec une prise correcte du béton. Évoquant le phasage des travaux pour ces ateliers, Patrice Bony précise que son objectif de départ de 24 ml par jour a

bien été tenu, soit une cadence moyenne de 100 ml par semaine. La fin de l'année 2006 voit donc la fin du génie civil sur le tunnel VL 1. Le temps est maintenant venu de se consacrer au tronçon VL 2, dont le creusement et la réalisation de la dalle basse sont déjà achevés. ■

TEXTE : SIMON ARTZ  
PHOTOS : ALEX BÉRAUD



**Concedant :**  
l'État

**Concessionnaire :**  
Cofiroute

**Maître d'œuvre, concepteur, constructeur :**  
Socatop (Vinci : 2/3,  
Eiffage TP : 1/6, Colas : 1/6)

**Durée de la concession :**  
70 ans

**Coût global des 2 tunnels :**  
1 700 M€ HT

# → Têtes de tunnel ou entrées des artistes

Devenues ouvrages d'art à part entière, les entrées de tunnels ont gagné une valeur architecturale qui fait d'elles des "moments" du paysage dont le dessin n'appartient plus au seul ingénieur. Les architectes ont pris le relais. Commentaires de Frédéric Zirk, spécialiste du genre.

Pour Frédéric Zirk, architecte, les têtes de tunnel soulèvent trois problèmes principaux quand il s'agit de mener à bien leur traitement architectural. Premier d'entre eux, le changement de milieu que constituent l'entrée et la sortie du "tube", qui exige une interface entre ce tube et la surface. Deuxième difficulté, la ventilation et la sécurité, paramètres décisifs dans un tunnel dont une extrémité comprend bien souvent une – volumineuse – usine d'aspiration et des accès particuliers. Troisième écueil, le vrai tunnel ne commence pas où se trouve l'entrée : on reconstitue l'entrée du tunnel en avant du front de taille réel, "reculé" le plus possible au moment du percement. "La mission de l'architecte

consiste dans la mise en forme de ces contraintes, autrement dit du changement de milieu, du choix de la position des têtes de tunnel, de l'inclusion de l'usine d'extraction", détaille Frédéric Zirk. Des contraintes auxquelles s'ajoute le problème de l'éclairage, les méthodes actuelles supprimant les "casquettes" de transition. Surtout, et en fonction de l'esprit et de la configuration de l'ouvrage, il faut concevoir une approche esthétique et explicable, "une démarche objective dans son but qui s'illustre par des choix esthétiques subjectifs", pour reprendre une formule chère à l'architecte. En somme un projet susceptible de convaincre la maîtrise d'ouvrage, en l'occurrence le concessionnaire, les DDE et

autres acteurs. "La démarche peut aussi être symbolique, enchaîne Frédéric Zirk. Il y a un rapport évident entre l'environnement et la tête de tunnel." Ce n'est qu'à partir de là que l'on aborde l'ensemble des problèmes, et notamment les contraintes imposées par les architectes des Bâtiments de France dans les sites sensibles, un permis de construire étant bien souvent obligatoire, dans le cas notamment des tunnels comprenant une usine d'aspiration. Reste que dessiner une entrée de tunnel commence précisément par aller là où il n'y a pas encore de tunnel... Et cela se termine par des coffrages. "À Montjézieu, il fallait faire en sorte d'illustrer le passage du croquis à l'ouvrage fini,

détaille Frédéric Zirk. À Saint-Béat, il existait des contraintes spécifiques en matière de préfabrication du fait d'une exigence élevée quant à l'aspect du béton – granulats, finition –, dues à la présence de carrières de marbre significatives, avec l'assurance nécessaire que l'objet fini serait conforme aux plans. À la Réunion, nous avons même réalisé des échantillons pour garantir la conformité du résultat. Quoi qu'il en soit, il y a toujours un aspect 'magique'. "Autant de spécificités qui font des têtes de tunnel un "beau" sujet, où la maîtrise de l'espace à trois dimensions donne tout son poids à la vision architecturale. Dans le cas d'un pont, c'est la structure qui guide. S'agissant d'une tête de tunnel, ce n'est que l'un des critères. "Le tunnel relève d'une forme de tradition. Il y avait des tunnels dans Rome, et jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, les ponts ont souvent eu des portes." En somme, la tête de tunnel est une "introduction" au tunnel. Un tunnel que seul sait faire vivre l'éclairage et surtout la lumière ponctuelle, certains tunnels pouvant s'étirer sur une quinzaine de kilomètres. "Les contraintes sont des atouts, des outils pour façonner la chose", conclut Frédéric Zirk. ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

PHOTOS : DR

« Une démarche objective dans son but qui s'illustre par des choix esthétiques subjectifs. »



### 1 En Raxat, déviation de Collioure – Port-Vendres (66)

La déviation Collioure – Port-Vendres comprend 2 x 2 voies, mais deux voies seulement au droit du tunnel. Sur cette zone de schiste en mauvais état, le front de taille a été reculé profondément et l'usager de la voie routière se trouve pris dans une longue tranchée qui borde la voie routière des deux côtés. "Nous avons pensé qu'il serait judicieux de donner l'impression d'un barrage retenant les terres", explique l'architecte Frédéric Zirk. Une impression matérialisée d'abord par un cône inversé, devenu finalement cylindre incliné pour des raisons de coffrage, le cylindre donnant un effet pratiquement identique sans variation du rayon de courbure.

### 2 et 3 Montjézieu (48)

Une route à quatre voies (ici l'A75) se divise la plupart du temps en deux tunnels, les diamètres des tubes étant alors plus réduits. C'est le cas pour cet ouvrage, où les caractéristiques des entrées sont très différentes. Au nord, la différence de niveau est de 4 mètres entre les deux chaussées en courbe, le projet architectural se traduisant par une superbe étude de géométrie sous la forme d'une surface de raccordement

entre les deux tubes, en appui sur la combe existante. Cette surface en paraboloïde hyperbolique est discrètement soulignée pour l'usager par un rythme de demi-lunes en inox. La tête sud, inscrite dans une architecture de vieux murs de soutènement de terrasses agricoles, se veut "frontale". Deux boîtes expriment les deux têtes, avec des entrées adoucies par des cornes de vache, réminiscence de l'hydraulique des arcs de ponts. Les demi-lunes en inox aident à faire comprendre la forme.

### 4 Foix (09)

Une chaussée d'autoroute (A20) à quatre voies qui se réduit à deux voies à l'approche du tunnel. Au nord, Pamiers. Plusieurs centaines de mètres séparent la tête du tunnel existante, qui contient l'unité de soufflerie, de la future issue de l'autre tube en projet. Au sud, Tarascon. Les deux futurs tunnels de 2 x 2 voies sont espacés de 40 mètres. La conception architecturale est la même pour les deux sorties du tunnel (l'actuelle et la future, dans un avenir non défini à ce jour) deux grosses boîtes prises dans un cirque taillé dans la roche. Avec, depuis la montagne, l'image d'un barrage, de l'autre côté, d'un "coin" fiché dans la montagne.

### 5 La Houssaye, la Réunion

Deux projets en un, avec d'abord deux tunnels à deux voies chacun. Les quatre têtes, identiques en apparence, s'adaptent rigoureusement au profil du terrain. "C'est un ouvrage simple, qui a fait l'objet d'une étude très détaillée sur l'aspect préfabrication", commente Frédéric Zirk. Béton blanc, béton brun : il fallait rester discret dans les pentes, respecter la "morphologie" locale. Il fallait aussi que les têtes de tunnel préparent la transition avec les viaducs.

Autre volet du projet, une tranchée couverte de 2 x 2 voies, dans une configuration unique : d'une part une falaise avec une sortie servant d'appui à un viaduc qui mène à Saint-Paul, d'autre part une tranchée dissymétrique à l'air libre. "Nous avons dessiné des arcs de plus en plus faibles pour montrer la réaction au remblai, au nord comme au sud", détaille l'architecte. Le dessin, très complexe pour l'entrée côté Saint-Paul étant donné la morphologie de la falaise et l'arrivée du viaduc, a demandé quatre mois d'étude.

### Saint-Béat (31)

Le contexte : une route nationale à deux voies, un site classé, un "long" tunnel avec une usine d'extraction, marqué par

un fort contraste entre la tête sud et la tête nord, où se trouve l'usine d'extraction. Au pied de l'ouvrage, la Garonne et une immense zone industrielle. Pour leur répondre, une façade nord en plaques de béton architectonique préfabriquées, puissamment géométrisée, à la mesure de la montagne et de la zone industrielle. Au sud, le tunnel passe sous une route départementale avant la montagne : ce passage est l'occasion d'un triangle légèrement courbé où la tête de tunnel métallique se détache sur un fond de béton préfabriqué.

### 6 Ferney-Voltaire (01)

La tranchée était déjà présente sur ce chantier situé au voisinage de l'aéroport de Genève, mais des travaux ont été rendus nécessaires pour supporter le passage du lourd Airbus A380. Ces travaux de renforcement furent aussi l'occasion de revoir la tête de tranchée avec la suppression des casquettes de transition, finalement traduite par une géométrie très simple reprenant celle des murs d'accès. D'une lecture rapide, elle traduit fidèlement la rencontre de la tranchée et du terrain. Un travail particulièrement fin a été accompli sur les murs en béton latéraux tout en gardant une partie de l'existant. ■



4



5



6

livres

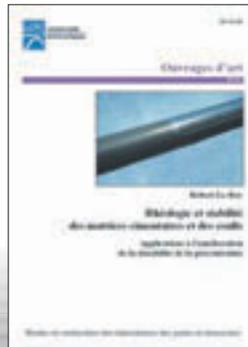


→ **Méthode d'évaluation non destructive de l'état d'altération des ouvrages en béton**

Sous la direction de **Denys Breysse et Odile Abraham**

La caractérisation de l'état et des performances des ouvrages est indispensable à toute politique de gestion efficace du patrimoine bâti. Les méthodes d'auscultation non destructive sont aujourd'hui capables de fournir des informations essentielles dans de nombreux cas. Cet ouvrage vise à fournir des éléments objectifs d'appréciation de leurs avantages. Reposant sur de nombreux exemples pratiques, il montre aussi comment ces techniques participent à une meilleure évaluation des structures en béton armé.

Éditions AFGC, 130 euros, [www.afgc.asso.fr](http://www.afgc.asso.fr)

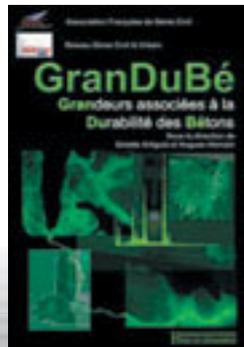


→ **Rhéologie et stabilité des matrices cimentaires et des coulis**  
Application à l'amélioration de la durabilité de la précontrainte

**Robert Le Roy**

Les recherches présentées dans ce document ont pour objectifs d'améliorer la durabilité des ouvrages d'art en béton précontraint, soit en réduisant les déformations différées, soit en améliorant la protection de la précontrainte. Le document couvre les domaines du fluage des matrices cimentaires, des propriétés d'écoulement des coulis d'injection, de leur stabilité à l'état frais.

Éditions Laboratoire central des Ponts et Chaussées, 30 euros, [www.lcpc.fr](http://www.lcpc.fr)

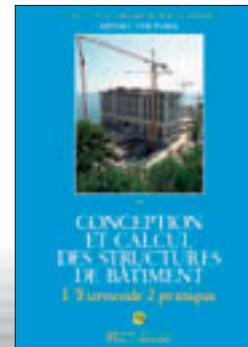


→ **GranDuBé**  
Grandeurs associées à la durabilité des bétons

Sous la direction de **Ginette Arliguie et Hugues Hornain**

La durabilité et la maintenance sont des préoccupations fortes, tant pour augmenter la durée de vie des ouvrages que pour leur assurer un fonctionnement en toute sécurité et éviter les risques de défaillance. Pour répondre à ces attentes, il est nécessaire de procéder à la validation de critères de performance choisis. Les travaux développés dans ce projet ont eu pour objectif principal de définir des modes opératoires recommandés pour un ensemble de grandeurs jugées décisives vis-à-vis de la durabilité des ouvrages ou pour la prise en compte d'une démarche "performantielle".

Éditions AFGC, 90 euros, [www.afgc.asso.fr](http://www.afgc.asso.fr)



→ **Conception et calcul des structures de bâtiment (vol. 7)**  
L'Eurocode 2 pratique

**Henri Thonier**

Objectif : offrir aux étudiants et aux ingénieurs de bureaux d'études un outil pratique pour les calculs de structure des bâtiments en béton non armé, béton armé et béton précontraint. Conforme aux normes européennes de l'Eurocode 2, cet ouvrage s'appuie sur certaines parties des six volumes précédents pour tout ce qui concerne la résistance des matériaux et la détermination des sollicitations. Un index de 175 mots clés permet de retrouver les références à l'ouvrage lui-même et aux articles de l'EC2-1-1.

Éditions Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 90 euros, [www.enpc.fr](http://www.enpc.fr)

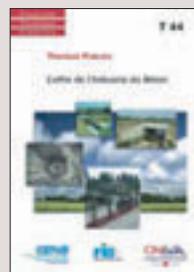
publications techniques Cimbéton



**Fiches techniques – Tome 2**  
**Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre**

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les bétons se trouve dans les fiches techniques éditées par Cimbéton. Le tome 2, qui vient de paraître, présente une somme d'informations détaillées sur les mortiers et les coulis, les bétons courants et les bétons aux nouvelles performances (BHP, BAP, BFUP). ■

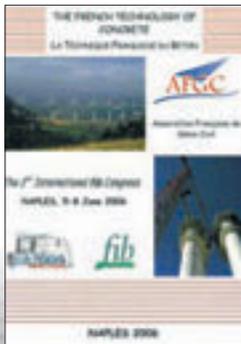
Référence G11, 134 pages, gratuit.



**Travaux publics**  
**L'offre de l'industrie béton**

Un guide en dix chapitres, largement illustrés de photos, qui passe en revue les atouts des produits préfabriqués – fiabilité, esthétique, contribution au développement durable – avant d'aborder les différents domaines d'application : adduction d'eau et assainissement, voirie et aménagements urbains, etc. ■

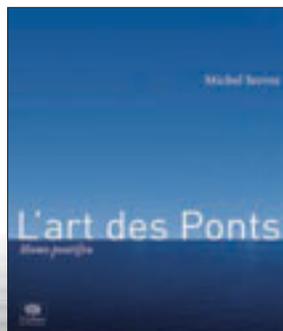
Référence T44, 140 pages, gratuit.



→ **La Technique française du béton – 2<sup>e</sup> Congrès international de la Fib**

Un nouveau volume de la technique française du béton, publié par l'Association française du génie civil (AFGC) à l'occasion du congrès de la fib qui s'est tenu à Naples en juin 2006. Regroupés en huit rubriques ("Recherche et innovation", "Performances des matériaux", etc.), les éléments ici rassemblés donnent une idée précise de l'état d'avancement du progrès technique. Nouveauté d'importance pour cette édition 2006 : le contenu complet se trouve sur un CD-Rom, le support papier ne conservant qu'un résumé des sujets présentés. L'ouvrage n'en est que plus facile à manipuler.

Éditions AFGC, 21,10 euros,  
www.afgc.asso.fr



→ **L'Art des ponts Homo pontifex**

Michel Serres

Ceux qui ne voient dans les ponts que des ouvrages de génie civil en seront pour leurs frais. Michel Serres, philosophe, membre de l'Académie française, professeur à Stanford University, nous propose un hommage très personnel aux ponts de toute nature – ponts sur l'eau ou ponts entre les hommes –, loin de la mission purement fonctionnelle du passage d'une rive à l'autre, d'un côté au côté opposé. "Je n'ai jamais rêvé que de ponts [...] je n'ai jamais aimé qu'eux", nous avoue-t-il ici. Une déclaration d'amour faite aux ponts, telle est donc la matière de cet ouvrage hors norme.

Éditions Le Pommier, 39 euros,  
txtnet.com/Pommier/



→ **Des origines au futur**

Pierre Médina de la Torre

Les colonnes de la rubrique "Livres" de *Construction moderne* ne s'ouvrent que rarement aux recueils de fables. L'objet de la revue, il est vrai, est plus proche de l'architecture et du génie civil que de la fiction littéraire... Il y a pourtant un pont qui nous mène jusqu'à cet ouvrage : son auteur. Un auteur de ponts, en l'occurrence, ingénieur des Ponts-et-Chaussées comme il se doit, chef de projet sur différents ouvrages dont l'élargissement du pont des Eyzies (rétrospectivement, ces "vagues" au-dessus de l'eau étaient bien l'indice d'un esprit poète). Cette fois pourtant, le héros n'est pas le béton et l'ingénieur avance masqué...

Édité par l'auteur, 9, chemin du Truch, 33450 Saint-Loubès, 19 euros

agenda

→ **Paris – GC'2007**

**Les 21 et 22 mars 2007**  
AFGC, Cimbéton  
Journées techniques  
"Le développement durable, une exigence d'innovation pour le génie civil"  
Tél. : 01 44 58 24 70  
E-mail : [afgc@enpc.fr](mailto:afgc@enpc.fr)

→ **Dubrovnik (Croatie)**

**Du 20 au 23 mai 2007**  
fib – Symposium  
"Concrete structures – Stimulators of Development"  
Site officiel du symposium :  
[www.igh.br/fib-dubrovnik-2007](http://www.igh.br/fib-dubrovnik-2007)

→ **Tours – CONSEC'07**

**Du 4 au 6 juin 2007**  
LCPC – 5<sup>e</sup> conférence internationale  
"Concrete under Severe Conditions of Environment and Loading"  
Tél. : 01 44 58 28 22  
E-mail : [bourgain@mail.enpc.fr](mailto:bourgain@mail.enpc.fr)



**Béton et ouvrages d'art – Tome 2**

**Les ponts courants en béton**

Ce guide technique fait le tour des principales solutions constructives pour la réalisation des ponts courants. Produits préfabriqués en béton ou béton coulé en place, l'ouvrage synthétise les recommandations relatives à la mise en œuvre des matériaux (béton, câbles de précontrainte). Il précise les informations essentielles pour le contrôle et l'assurance de la qualité ainsi que la gestion des ouvrages. ■

Référence T 42, 208 pages, gratuit.



6<sup>e</sup> pont sur la Seine à Rouen, photo Arnaud Bertereau.