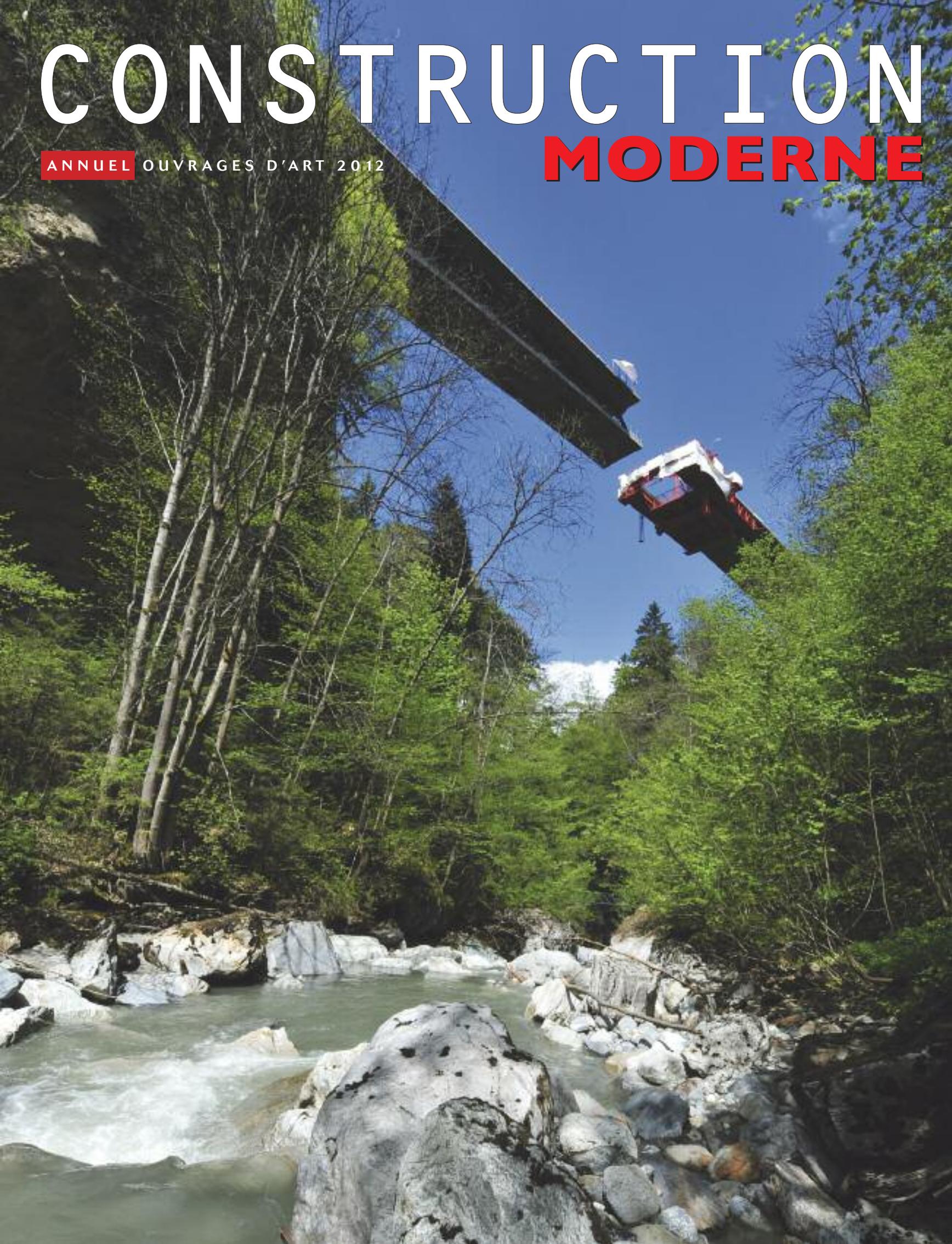


# CONSTRUCTION

# MODERNE

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2012

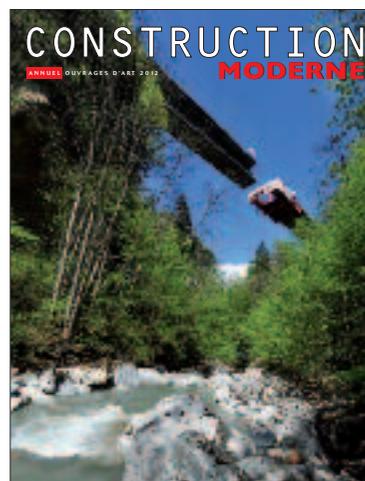


# ÉDITO

« Je suis né constructeur », disait Eugène Freyssinet. Un constructeur héritier d'une lignée d'artisans corréziens guidés « par un souci extrême de la simplification des formes et l'économie des moyens », un constructeur mu par « l'impérieuse obligation d'utiliser au mieux les ressources de la collectivité ». Eugène Freyssinet a fait accomplir à l'art de construire une révolution décisive en inventant en 1928 un matériau nouveau, le béton précontraint, et en imaginant des techniques constructives associées. Mais la précontrainte n'est qu'un aspect de son combat solitaire pour donner un avenir au béton en améliorant sa résistance à la compression et en lui interdisant de fissurer dans les zones tendues. Avant d'inventer la précontrainte, il aura recours aux arcs et aux voûtes pour obtenir une compression naturelle du béton. Il le fera en grand ingénieur, s'adjuant successivement trois records du monde de portée des arcs en béton : Villeneuve-sur-Lot, 96 m ; Saint-Pierre du Vauvray, 131 m ; Plougastel, 186 m. Il le fera aussi en artisan corrézien soucieux d'économiser matière et main-d'œuvre pour réaliser son ouvrage, inventant le cintre réutilisable pour construire les hangars d'Orly et le pont de Plougastel. La précontrainte lui permet d'obtenir une compression artificielle du béton, mais aussi de concevoir des ouvrages constitués d'éléments assemblés par des câbles de précontrainte, préfabriqués en série pour en réduire le coût et en contrôler la qualité. Grand inventeur et grand ingénieur, il n'oubliera jamais ses origines corréziennes. À l'occasion du cinquantenaire de sa disparition, la créativité, l'audace et la rigueur d'Eugène Freyssinet méritent d'être mises en lumière pour servir d'humus aux constructeurs modernes.

**Frank Guyon**

Président de l'association Eugène Freyssinet



← Couverture • Viaduc de Saint-Gervais – Architecte Strates  
Photo : Pascal Tournaire



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)

Directrice de la publication : Anne Bernard-Gély • Directeur de la rédaction : Patrick Guiraud  
• Rédacteur en chef : Norbert Laurent • Rédacteur en chef adjoint : Clothilde Laute  
• Conception, rédaction et réalisation : C@re-Off Paris • Directrice artistique : Sylvie Conchon  
• Dessins techniques et plans : Frédéric Olivier • Pour tout renseignement concernant la rédaction, tél. : 01.55.23.01.00 • La revue *Construction Moderne* est consultable sur [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) • Pour les abonnements, envoyer un fax au 01.55.23.01.10 ou un e-mail à [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)

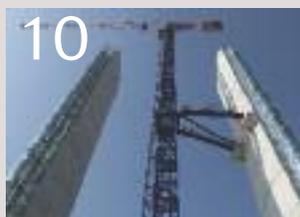
## SOMMAIRE – Annuel Ouvrages d'art – Édition 2012



**01**  
LGV Est-européenne –  
Moselle (57) et Bas-Rhin (67)



**06**  
Viaduc de Saint-Gervais –  
Saint-Gervais-les-Bains (74)



**10**  
Pont Bacalan-Bastide –  
Bordeaux (33)



**23**  
Grand Stade – Le Havre (76)



**27**  
Hommage à  
Eugène Freyssinet



**32**  
Regards croisés  
sur Eugène Freyssinet



**36**  
International – Grands chantiers  
autour du monde



**15**  
Les solutions constructives  
en béton pour les ouvrages  
du cycle de l'eau



# Préserver l'environnement et la biodiversité

La création d'une infrastructure linéaire, telle une ligne à grande vitesse, constitue une barrière artificielle dans les régions traversées. C'est le cas pour le prolongement en cours de la LGV Est-européenne qui croise des corridors écologiques, riches en espèces protégées. L'enjeu de l'aménagement est d'assurer une transparence hydraulique, de ne pas s'opposer aux écoulements naturels et aux déplacements de la faune. Les ouvrages en béton, des simples canalisations aux grands viaducs en passant par les dalots, offrent une multitude de solutions.

Texte : Michel Barberon



→ 1, 2 et 3 • Sur la LGV Est-européenne, plusieurs ponts-routes font appel à la technique des poutres en béton précontraintes par fils adhérents (PRAD).

**Un pas de plus** à grande vitesse pour les rames TGV vers l'est de la France... La phase 2 en construction entre Baudrecourt (Moselle) et Vendenheim (Bas-Rhin), aux portes de Strasbourg, va prolonger la ligne Est-européenne jusqu'en Alsace. En première étape, les 300 km en service depuis juin 2007 ont offert un sérieux gain de temps entre la capitale, les villes comme Reims, Nancy, Metz et celles d'Allemagne desservies. De 4 h minimales avant, Paris et Strasbourg sont reliées en 2 h 20. À partir du printemps 2016, une demi-heure sera encore gagnée sur ce trajet et au-delà vers Mulhouse, Colmar et à l'international. Ce tronçon, dont les travaux de génie civil démarrés en juillet 2010 sont divisés en dix lots,

cinq dans chaque département, rencontre un relief plus marqué que le précédent. Conséquences, les volumes de matériaux à déplacer sont très importants : plus de 40 millions de mètres cubes ! Outre les quelque 130 ouvrages de rétablissements classiques, cette topographie tourmentée implique la construction de quelques beaux viaducs : du Landbach (500 m), de la Sarre (441 m), de la Zorn (450 m et 382 m), de Haspelbaechel (270 m), de Bourgalstroff (195 m) et de Lidrezing (176 m).

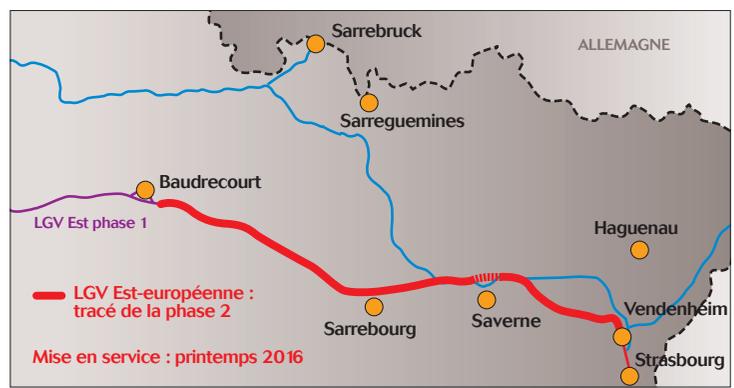
### TRANSPARENCE HYDRAULIQUE

Les aménageurs, en l'occurrence RFF le maître d'ouvrage, doivent respecter des engagements vis-à-vis de la loi sur l'eau et parer aux risques en cas d'inondations. Le franchissement de chaque cours d'eau, quelle que soit sa taille et même s'il est intermittent, a fait l'objet d'une étude. Pour les plus importants, le principe, déjà appliqué sur les LGV précédentes, consiste à prendre en compte les hauteurs d'eau maximales relevées lors de crues centennales ou historiques, d'y ajouter une marge de sécurité et de dimensionner des

gabarits d'ouvertures suffisants pour ne pas aggraver la situation : c'est la transparence hydraulique. Exemple, en vallée de Sarre où les riverains de la future ligne s'inquiétaient, l'ouvrage, d'une longueur de 370 m selon l'enquête publique, a été allongé à 410 m lors de la phase d'avant-projet détaillé. Au final, son tablier posé sur huit piles en béton atteindra 441 m pour franchir une départementale, la ligne Luxembourg – Metz – Strasbourg et la Sarre. Autre cas significatif dans la vallée de la Zorn cette fois, le viaduc de 296 m enjambant la rivière devait être suivi d'un remblai et d'un autre ouvrage sur un canal. Une première proposition a consisté à ne réaliser qu'un ouvrage unique de 450 m. Mais à la suite d'une demande locale,

un second viaduc de 382 m remplacera le remblai prévu. Dès l'élaboration du projet, RFF a intégré l'importance de son insertion dans l'environnement via un recensement des enjeux en matière d'hydrographie, de biodiversité, de respect du paysage. Atout supplémentaire, il a bénéficié du retour d'expérience de la phase 1, pris en compte dans la définition des ouvrages à vocation environnementale de façon à améliorer leur fonctionnalité, leur emplacement, les besoins d'aménagement connexes ou spécifiques. « Sur la phase 2, il y a une nette évolution des exigences concernant les compensations de zones humides et une prise en compte anticipée lors de la conception avec des adaptations du

Calendrier	
2010-2013 :	Génie Civil, 2014 : pour le tunnel de Saverne
2012 :	aménagement de la base-travaux de Réding
2013-2015 :	pose des équipements ferroviaires
2015 :	essais de circulation
2016 :	mise en service (au printemps)





3



4

→ 4 • L'assemblage en « kit » des éléments préfabriqués en béton de la tranchée couverte, au-dessus de laquelle pourra passer la faune, minimise le temps d'intervention sur le site.

projet. Lorsque les contraintes techniques le permettent, celles-ci peuvent aller du déplacement d'une piste de chantier, d'un bassin ou d'une pile d'un viaduc à une modification de rétablissement routier, voire un allongement d'ouvrage pour épargner ces zones», explique Lorraine Saul-Guibert, responsable environnement à la direction RFF des opérations de la LGV Est-européenne. Cette notion de transpa-

rence hydraulique est complétée par une démarche destinée à rétablir les corridors écologiques. C'est le point qui a le plus évolué. Sur les deux phases le type d'ouvrages de franchissement pour la grande et la petite faune est sensiblement analogue : batrachoducs sous forme de buses et dalots en béton, passages supérieurs et inférieurs pour les gros animaux. Leur nombre est par contre plus élevé sur la seconde phase. En Moselle certains ouvrages hydrauliques comportent une banquette unilatérale et ont été allongés pour permettre le passage de la petite faune d'une rive à l'autre via une rampe.

Le secteur le plus délicat à traverser a été celui du parc naturel régional de Lorraine (PNRL).

#### RÉTABLISSMENT DES CORRIDORS DE BIODIVERSITÉ

Trouver un passage pour la ligne le moins impactant possible vis-à-vis de l'environnement tout en respectant les critères géométriques imposés par la grande vitesse n'a pas été une mince affaire. En particulier dans le pays des étangs, une vaste plaine boisée parsemée de plans d'eau

s'étendant du sud du plateau lorrain aux Vosges. Par rapport à sa première déclaration d'utilité publique de 1996, le projet a été modifié à la suite de la demande du ministère de l'Environnement, du parc, d'associations de protection de la nature et de la commission d'enquête. Une DUP modificative le 6 septembre 2002 l'a fait passer de l'ouest de la clairière dite de Belles-Forêts à l'est, réduisant ainsi les effets sur les zones humides et le paysage. Se situant entre deux zones Natura 2000 des sites de Lindre et de Mittersheim, le tracé tient compte de la notion nouvelle de

rétablissement des corridors de biodiversité qui concerne la continuité des cheminements pour toutes les espèces. Ici, le nombre de passages pour la petite faune a été fortement augmenté surtout en milieu forestier. Deux ouvrages spécifiques exceptionnels par leurs dimensions ont été créés : l'un de 40 m d'ouverture, l'autre de 45 m. Le premier est un passage toute faune, appelé ainsi parce qu'il peut être emprunté par les petits animaux (renards, blaireaux, fouines...) et les grands (cerfs, sangliers, chevreuils...). Le second, mixte, sert pour la faune et de chemin de débardage.

#### Chiffres clés

Longueur : **106 km**

Déblais : **18,5 millions de m<sup>3</sup>**

Remblais : **12,8 millions de m<sup>3</sup>**

Dépôts : **10,4 millions de m<sup>3</sup>**

Écrans acoustiques en béton : **830 m**

Béton : **220 000 m<sup>3</sup>**

Traverses : **395 000**

Ouvrages d'art : **129**

- 91 franchissements de routes,
- 4 de voies ferrées,
- 25 de cours d'eau,
- 2 sauts-de-mouton,
- 1 tunnel,
- 6 passages faune.



Photo : RFF

→ Sous la plate-forme ferroviaire, les canalisations en béton permettent la transparence hydraulique et servent aussi de passage pour les petits animaux.



5



6

→ 5 • Sur l'aire de stockage, chaque empilement de voussoirs correspond à un anneau du tunnel. 6 • Le double tunnel de Saverne est constitué de 30 960 voussoirs.

Inspirés de l'expérience d'études et d'ouvrages réalisés en Suisse, ainsi que de recommandations du Setra (Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements), leurs dimensions se justifient par la prise en compte du corridor de déplacement biologique d'intérêt européen entre les deux zones Natura 2000. Conçus et réalisés par l'entreprise Matière, ces ouvrages sont constitués d'éléments en béton préfabriqués en usine, puis assemblés directement sur site. Une conception qui réduit les impacts du chantier telle la pollution en phase de réalisation, limite les circulations d'engins et permet une mise en œuvre très rapide. Alors que six mois auraient été requis pour construire un ouvrage classique, un mois et demi seulement a en effet été nécessaire pour assembler les 97 éléments préfabriqués composant l'ouvrage, long de 40 m, large de 14,24 m, haut de 9,6 m qui représente 1 200 m<sup>3</sup> de béton.

### UN GÎTE À CHIROPTÈRES EN BÉTON

Sur la commune de Belles-Forêts, les chiroptères disposeront bientôt d'un tout nouveau gîte, habitable l'hiver

comme l'été. Un ouvrage en béton, durable, solide, d'une surface de 225 m<sup>2</sup>, conçu comme une longue galerie dont la température se stabilisera et le taux d'hygrométrie augmentera en s'éloignant de l'entrée. RFF a fait appel à la Commission de protection des eaux, du patrimoine, de l'environnement, du sous-sol et des chiroptères (CPEPESC) Lorraine pour le concevoir et répondre ainsi à l'obligation de l'arrêté préfectoral du 19 mars 2010 autorisant « la destruction, l'altération d'aires de repos ou de reproduction d'espèces protégées ». Il s'agit en fait d'une mesure compensatoire imposée par la destruction d'une ancienne carrière de gypse où vivaient des chauves-souris. Chicanes, cloches, microhabitats tels qu'interstices, disjointements, aménagements de corniches, maçonnerie au grain prononcé pour favoriser l'accroche... tout va être conçu pour accueillir au mieux et satisfaire les futurs pensionnaires.

### LE TUNNEL BITUBE DE SAVERNE, L'OUVRAGE MAJEUR DE LA PHASE 2

Deux tubes longs de près de 4 km, d'un diamètre intérieur de 8,9 m,

destinés chacun à recevoir une voie unique. Au total, 3 870 anneaux de 2 m composés chacun de huit voussoirs de 8 t, soit 250 000 t de béton. Sept rameaux d'interconnexion espacés de 500 m pour assurer l'évacuation des voyageurs d'un TGV en cas de problème... Ces données caracté-

térisent le futur tunnel bitube de Saverne, le premier du genre construit en application des directives européennes en matière de sécurité incendie dans les tunnels ferroviaires de décembre 2007. Sa situation dans le parc naturel des Vosges du Nord et une zone Natura 2000

#### Le retour d'expérience de la LGV Rhin-Rhône

Sur les 140 km de la LGV Rhin-Rhône créée entre Mulhouse et Dijon, ouverte le 11 décembre 2011, les photos prises par des appareils placés en extrémité d'ouvrages béton le prouvent. Blaireaux, chats sauvages, lapins, lièvres utilisent ces rétablissements qui leur sont dédiés. « Nous avons des données par type d'ouvrage avec des retours très positifs », explique Anne Petit, responsable du service Environnement à la direction RFF Bourgogne – Franche-Comté.

« L'expérience des lignes précédentes nous a incités à travailler plus en amont sur le positionnement le mieux adapté aux axes de déplacement des animaux. La ligne étant clôturée, ils sont guidés et se dirigent vers les points de passage au-dessus ou en dessous des voies. Avec un ouvrage bien situé, même petit, ils gardent leurs habitudes. » Buses en béton de diamètre 800 mm, 1 000 mm et 1 200 mm, dalots de tailles diverses offrent de multiples passages transversaux et assurent cette indispensable transparence, tant pour la faune que l'eau. Si un débit est intermittent et ne coule pas toute l'année, des buses simples sont installées. Pour la faune, elles sont spéciales. « Il existe beaucoup d'ouvrages différents. À partir du moment où on réalise des ouvrages hydrauliques avec une banquette faune, il deviendrait intéressant de les uniformiser. »



→ 7 • Sur la LGV Rhin-Rhône, la continuité des territoires des animaux est assurée par de larges passages à faune. 8 • Autour d'un ouvrage hydraulique en béton, la nature a repris ses droits.

## Chiffres clés

### Tunnel de Saverne

Longueur : 4 000 m

Diamètre extérieur : 10 m

Mortier : 48 000 m<sup>3</sup>

Béton : 50 000 m<sup>3</sup> (radier et trottoirs)

Déblais : 730 000 m<sup>3</sup>

Armatures : 7 000 t



→ La mise en place d'un voussoir dans le tunnel de Saverne.

implique non seulement une insertion paysagère soignée, mais aussi un système temporaire d'assainissement des eaux pour parer à toute pollution. L'ouvrage, qui fait partie des 7,5 km du lot 47 réalisé par Dodin Campenon Bernard et Spie Batignolles, permettra aux TGV de traver-

ser le massif des Vosges dans sa partie la plus étroite en 40 secondes. Depuis novembre 2011, « Charlotte », prénom de la marraine du tunnelier, creuse dans le sens est-ouest, en montée, sans relâche 24 h/24, 7 j/7, à la cadence moyenne de 20 m par jour. Conçu par la société allemande

Herrenknecht, ce monstre de 110 m et 2 200 t est à technologie mixte. Il est capable de travailler en mode ouvert dans le grès sain des Vosges, soit la majeure partie du parcours souterrain, ou en mode fermé à pression de terre dans les zones plus délicates détectées à l'entrée et au centre du tunnel. La préfabrication des voussoirs – 30 960 au total – a été confiée à la société Stradal, filiale du groupe international CRH. Dans son usine de Kilstett (Bas-Rhin), où sont généralement fabriqués des produits pour l'assainissement et les aménagements urbains, elle a investi 4 millions d'euros pour ce marché spécifique. L'objectif est d'assurer au quotidien une production à la chaîne 24 h/24, six jours par semaine, de 100 voussoirs qui sont ensuite transportés sur le site par voie routière. Stradal a choisi Ciments Calcia pour la fourniture de près de 32 000 t de ciment CEM III/A 52,5 L CE PM-ES CP1 NF élaboré dans son usine de Rombas, en Moselle, au rythme de 450 t par semaine pendant deux ans. « Après une étude approfondie des performances du béton en termes de résistance, de dégagement faible de chaleur d'hydratation,

et d'ouvrabilité, ce ciment a été choisi parce qu'il correspond aux spécifications du client : résistance aux agents agressifs et performances mécaniques », résume Laru Zuresco, directeur du développement chez Stradal. Après percement du premier tube le 19 juin dernier, le tunnelier a été démonté, transporté là où il avait démarré côté Alsace, puis remonté pour engager le creusement du second tube. ■

**Photos :** Michel Barberon ;  
Ouverture – RFF/Éric Laurent,  
Photo Lab Service ;  
4 – MATIERE SAS ; 7 et 8 – RFF



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

**Maître d'œuvre :** Inexia-Arcadis tronçon G (71 km) en Moselle, Setec international tronçon H (35 km) en Alsace

**Coût :** 2 Md € HT



# Un viaduc « alpin »

À site exceptionnel, ouvrage exceptionnel ! Dominant l'impressionnant ravin du Bonnant, au cœur d'un paysage magnifique auréolé par les massifs alpins, le nouveau franchissement de Saint-Gervais-les-Bains, station de sports d'hiver et ville thermale, laisse la part belle à la majesté du site : grâce à l'élégance de sa structure ciselée, l'ouvrage s'efface devant la géographie tandis que son tablier, transformé en belvédère, la met en perspective. Exceptionnel, le nouveau viaduc l'est à plus d'un titre, à commencer par la longueur de sa travée centrale, fine et transparente, et sa conception mixte alliant deux hourdis précontraints en béton à hautes performances reliés par des diagonales métalliques.

Bienvenue au pays du Mont Blanc, royaume des sports alpins. Texte : Delphine Désveaux



→ 1 • Vue aérienne de l'ouvrage exceptionnel franchissant la brèche du Bonnant. 2 • Les deux hourdis précontraints en BHP sont reliés par des diagonales métalliques.

**La qualité d'un pont** se mesure à la façon dont il s'identifie au site qui l'accueille. Si le pont Bacalan-Bastide est bourgeoisement « installé » sur la Garonne, enclin au prestige et à l'art de vivre du Médoc, le pont de Saint-Gervais est sec, nerveux, tout en muscle, en un mot : sportif, à l'image du royaume des sports alpins.

L'accroissement important du trafic dans la traversée de Saint-Gervais-Bains a conduit à la construction d'une voie nouvelle entre la RD 902 et la RD 909 pour détourner la circulation du centre-ville. D'une longueur de 630 m environ, cette liaison comprend trois carrefours giratoires, des remblais de type pierre renforcée, un ouvrage d'art permettant d'enjamber

le parking de la télécabine du Bettex et un viaduc exceptionnel pour franchir la brèche du Bonnant.

### LES OUVRAGES DU CONTOURNEMENT

Le premier pont (32,50 m), de type passage inférieur, est ouvert à la circulation depuis l'été 2011. Son tablier est une dalle en béton précontraint coulée sur cintre, structure particulièrement adaptée à la géométrie complexe du tablier (courbe, dévers de 5 %, pente de 7 %) et aux tassements éventuels du sol de fondation. Quant à l'ouvrage exceptionnel, il enjambe sur 240 m une brèche profonde de 80 m, difficilement accessible, occupée par un torrent et des blocs de pierre. Le versant rive droite présente une pente à 45 % tandis

qu'une haute falaise délimite la rive gauche. Compte tenu de la valeur paysagère de Saint-Gervais, le viaduc a fait l'objet d'une approche architecturale et technique qui confine à l'épure. « *Nous avons étudié par le menu toutes les solutions* », explique Hervé Vadon, architecte de l'agence Strates. « *Le désir d'insérer au mieux l'ouvrage dans ce paysage magnifique nous a fait éliminer toutes les solutions susceptibles d'apporter un élément technique incongru dans le grand paysage. Aucune superstructure : ni pylônes, ni mâts, ni arcs de suspension... D'autant qu'avec le salage intense exigé par l'exploitation hivernale, ils auraient été exposés à une atmosphère très corrosive.* »

Le franchissement est constitué de deux travées de rives et d'une travée

centrale composée de deux hourdis précontraints en béton à hautes performances (classe de résistance C 80/95) reliés par un treillis métallique gris foncé. Ce choix d'un ouvrage mixte permet une économie de matière qui cisèle la structure : le hourdis supérieur, plan, a une épaisseur de 26 cm à mi-travée, tandis que le hourdis inférieur, arqué, dispose d'une épaisseur minimale à la clé (30 cm) qui s'élargit progressivement

### Les bétons

9 000 m<sup>3</sup>, en provenance de BRA, filiale de Vicat

**Culées, piles et travées de rives :**  
Béton BPS  
Classe de résistance : C 35/45 G  
Classe d'exposition : XF4  
Ciment : CEM I 52,5 N  
CE PM-ES-CP2 NF

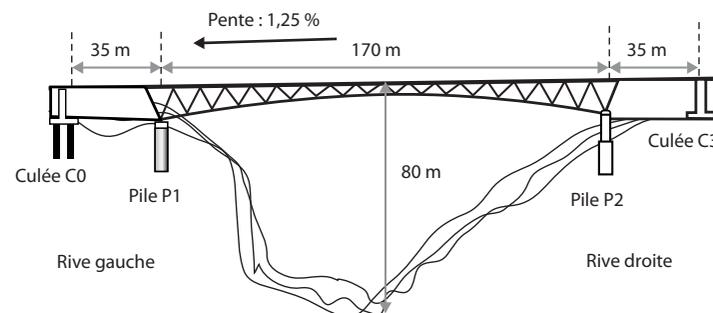
**Hourdis inférieur et supérieur de la travée centrale, chevêtres, voiles biais des travées de rives, berceaux et chapiteaux :**  
Béton BPS  
Classe de résistance : C 80/95  
Classe d'exposition : XF4 G+S :  
385 kg/m<sup>3</sup>  
Ciment : CEM I 52,5 N  
CE PM-ES-CP2 NF

### Chiffres clés

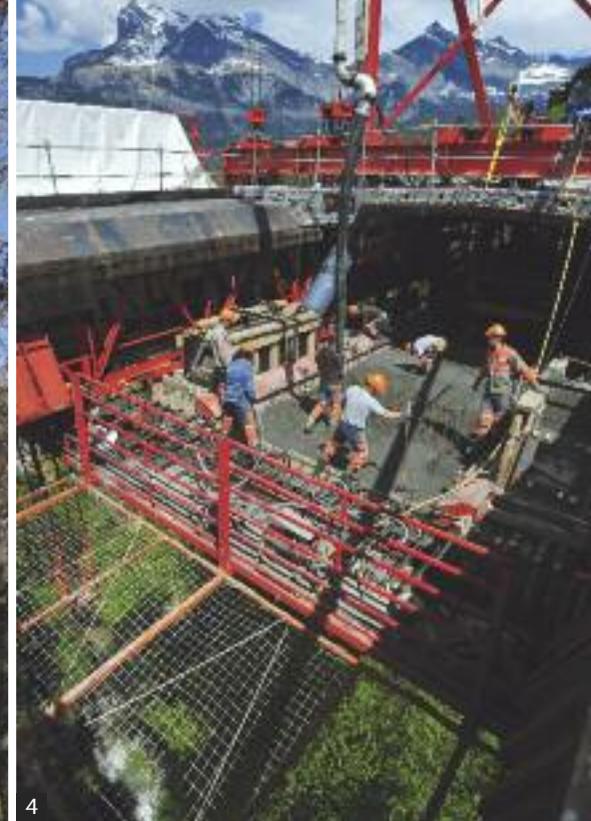
Longueur totale : 240 m  
(35 m – 170 m – 35 m)

Largeur utile : 11,90 m  
– 2 trottoirs (2 x 1,50 m de large)  
– 2 pistes cyclables  
(2 x 1,50 m de large)  
– 2 voies de circulation  
(2 x 2,95 m de large)

Diagonales : longueur variant de 2,48 m à 8,84 m



→ Coupe longitudinale du viaduc.



→ 3 • L'épaisseur du tablier passe de 11 m sur piles à 3,50 m à la clé. 4 • Le hourdis inférieur est bétonné avant le hourdis supérieur au moyen d'un équipage mobile.

## Entretien

Christophe Outteryck, directeur de projet chez Egis JMI

### Principe structurel

#### En quoi cet ouvrage est-il exceptionnel ?

*Il est exceptionnel par son fonctionnement, avec une travée centrale très longue et d'une extrême finesse, avec un minimum de matière poussée à son maximum. Cela a généré des études et une réalisation complexes.*

#### Pourquoi avoir adopté ce schéma statique ?

*Saint-Gervais est classée en zone sismique 1b, l'ouvrage est rangé dans la classe C des ponts à risque normal supportant une voie à grande circulation. Compte tenu de la topographie accidentée et du passage d'une faille, on pouvait craindre une amplification des sollicitations sismiques, c'est pourquoi nous avons préféré écarter les structures rigides encastées directement dans les versants. Afin d'isoler le tablier des vibrations du sol, nous avons interposé entre le tablier et ses appuis des blocs de caoutchouc fretté de grande épaisseur jouant le rôle d'amortisseurs. Ce choix impliquait un schéma statique de poutre continue à trois travées.*

#### Quelles étaient les principales contraintes structurelles ?

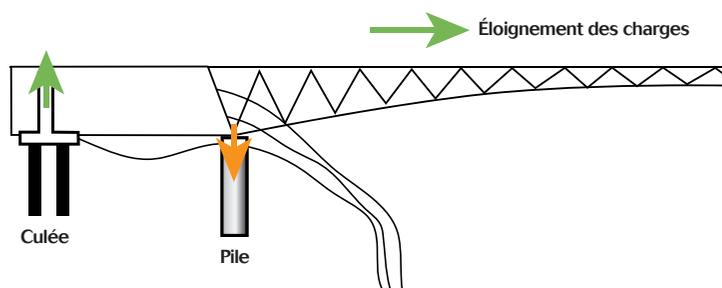
*Avec des travées de rives aussi courtes, il était difficile d'obtenir une répartition équilibrée des efforts : l'éloignement des charges de la travée centrale (poids propre, équipage, grue) crée un effet de levier qui soulève les travées de rives dont les dimensions sont limitées par les emprises des giratoires. Nous avons prévu au départ de les remplir de matériaux, ce qui demandait des épaissements des caissons, le tout faisant contrepoids. Mais après calcul, nous nous sommes aperçus que la compression des appareils d'appui n'était pas assurée, quelle que soit la quantité de matière ajoutée. C'est pourquoi nous avons préféré alléger la travée centrale et rééquilibrer la culée par un mur-mortaise traversé de tenons, solidaires de la travée de rive. ■*

sur les appuis (50 cm). La légèreté de cette structure associée aux travées de rives formant contrepoids autorise ainsi à la fois la finesse et la longue portée (170 m) de la travée centrale. Au final, cette dernière est si mince qu'elle laisse la primauté au panorama montagneux de la chaîne des Aravis et du désert de Platé. L'ouvrage est aussi dimensionné pour supporter le passage du futur tramway du Mont Blanc, à l'étude, qui remplacerait le train actuel.

### FONDATIONS ET BÉTONNAGE

Le chantier a nécessité la mise au point d'un phasage et des méthodes de construction complexes. Il a commencé rive gauche avec la réalisation des déblais et des parois clouées

pour permettre la construction des fondations de la culée, de la pile, puis de la travée de rive. « *Le béton provenait de la centrale de Passy, complétée le cas échéant par celle des Houches* », explique Olivier Viret, responsable du chantier pour Bouygues TP RF. « *Cet hiver, nous avons revêtu la structure d'une bâche, calorifugée par flocage les voiles et introduit des résistances électriques dans les coffrages, ce qui nous a permis de bétonner jusqu'à des températures extérieures de -5 °C.* » Les bétons ont par ailleurs été formulés pour résister aux cycles gels/dégels et aux sels de déverglaçage (classe d'exposition XF4). La culée rive gauche est fondée sur 8 pieux surmontés d'une semelle de grande dimension, une semelle superficielle étant suffisante



→ Schéma de fonctionnement : effet d'appui inversé.



5



6

→ 5 • Une grue à chenilles achemine les cages d'armatures préfabriquées des voussoirs. 6 • Depuis le Bonnant, 80 mètres plus bas, quelques semaines avant le clavage.

en rive droite. Côté falaise, un mur garde-grève retient le remblai d'accès tandis qu'un mur-mortaise traversé de tenons solidaires de la travée de rive compense l'effet d'appui inversé lors de la construction du fléau. Les voiles latéraux sont revêtus d'un béton matricé imitant le substrat rocheux. Fondées sur des puits marocains circulaires en rive gauche et elliptiques en rive droite, les deux piles sont des fûts pleins de faible hauteur. Elles présentent un parement en béton matricé, dont les dimensions sont définies par l'importance des équipements du chevêtre (appareils d'appui, vérinages). Elles sont surmontées de quatre gros appareils d'appui en néoprène.

Les caissons en béton précontraint des travées de rives ont été coulés sur cintre. Du côté de la travée centrale, le voile s'inscrit en biais pour épouser l'inclinaison de la première diagonale du treillis.

### UN TABLIER RÉALISÉ PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS

« Nous nous sommes inspirés des méthodes utilisées par Bouygues pour le pont sur le Bras de la Plaine à La Réunion », rappelle Olivier Viret. « Les fléaux ont été réalisés par encorbellements successifs à partir de chaque flanc de falaise grâce à un équipage mobile (Semi) composé de

deux éléments indépendants affectés respectivement au bétonnage du hourdis supérieur puis du hourdis inférieur par tranches successives de 10 m », précise Philippe Pionnier, responsable du suivi des travaux chez Egis. Ce dispositif présentait plusieurs avantages, notamment de libérer l'extrados du tablier pour les accès et les approvisionnements, de diminuer la manutention et d'améliorer la sécurité puisque les coffrages restaient attachés. Si les 17 voussoirs du hourdis supérieur sont identiques, ceux de la membrure inférieure s'affinent à la clé pour affirmer la géométrie en arc.

### LIVRAISON FIN 2012

Les cages d'armatures des voussoirs, préparées sur une plate-forme attenante, sont acheminées sur l'ouvrage à l'aide d'une grue à chenilles. Le béton est coulé, puis, l'une après l'autre, les diagonales en acier sont ancrées dans les « berceaux » du hourdis inférieur et les « chapiteaux » du hourdis supérieur. En raison de la structure en treillis, les diagonales travaillent tour à tour en compression et en traction, c'est pourquoi les diagonales tendues sont précontraintes.

Les câbles de fléaux du voussoir sont alors mis en tension. Et ainsi de suite jusqu'au clavage final réalisé en juin. L'ouvrage d'art sera livré fin 2012. On sait d'ores et déjà que la membrure inférieure, accessible depuis la culée, servira de plate-forme pour les adeptes du saut à l'élastique. ■

Photos : Ouverture, 1, 3, 4, et 6 – Pascal Toumaire ; 2 et 5 – Bouygues

#### Les quatre types de précontrainte

##### ■ La précontrainte de fléau :

- tient l'ouvrage en encorbellement durant la phase de construction ;
- met en précontrainte les tenons, soumis à d'importants efforts du fait de la réaction d'appui.

- La précontrainte éclisse, mise en tension à la fin de la construction, renforce la structure en arc du hourdis inférieur.

- La précontrainte des diagonales tendues assure la parfaite connexion entre les hourdis supérieur et inférieur.

- La précontrainte extérieure en sous-face du hourdis supérieur est posée en prévision du futur passage du tramway du Mont Blanc.

**Maître d'ouvrage :** Conseil général de Haute-Savoie

**Maître d'œuvre :** Egis JMI ; Architecte, Strates ; Paysagiste, Paysage Plus

**Entreprises :** Bouygues TP RF, VSL France, Benedetti

**Calendrier :** concours 2005 ; durée des travaux, 30 mois ; mise en service, octobre 2012

**Coût :** 16 M€ TTC



# Une porte **fluviale**

Le pont levant de Bordeaux trône en majesté dans le lit de la Garonne et contribue à la richesse architecturale d'une ville classée au patrimoine mondial de l'Unesco. Fort de son échelle monumentale, cet ouvrage d'art n'en est pas moins urbain. Reliant les Bassins à flots et le port de la Lune du quartier de Bacalan en rive gauche à celui de Bastide, le territoire en développement de la rive droite, ce sixième franchissement de l'agglomération bordelaise est dimensionné pour accueillir tous les modes de déplacement. Et surtout, il boucle les boulevards urbains sans faire obstacle à la navigation grâce à la largeur de sa passe navigable et à son tirant d'air. Le nouvel ouvrage laisse ainsi la voie libre aux paquebots et voiliers souhaitant faire escale.

Texte : Delphine Désveaux



1

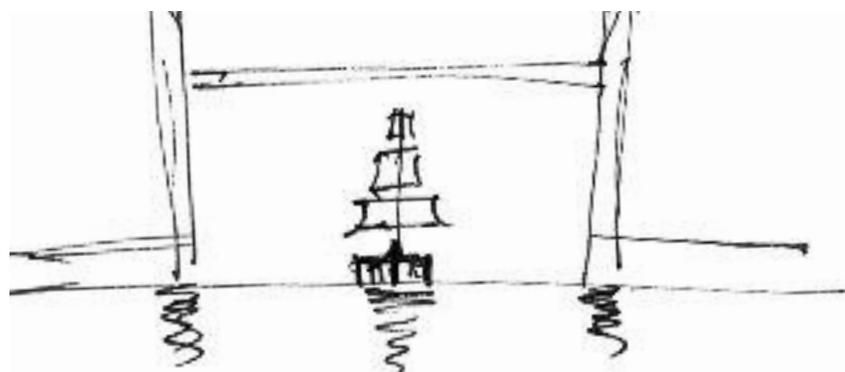
2

→ 1 et 2 • L'estacade permet l'accès aux piles intermédiaires ainsi qu'à l'embase et aux îlots de protection, préfabriqués en cale sèche.

**Voilà un pont** à l'image de la ville qui l'accueille : majestueux, solidement « installé » dans le lit de la Garonne. Alain Juppé, maire de Bordeaux, n'a pas manqué de souligner l'importance de ce nouvel ouvrage qui compte parmi les plus grands ponts levants du monde : « Il n'y a pas de patrimoine sans projection dans le futur. Grâce au pont Bacalan-Bastide, Bordeaux et son agglomération bénéficieront d'un nouveau trait d'union entre la rive gauche, dont la

*fabuleuse mutation des quais se prolonge jusqu'aux Bassins à flots, et la rive droite en cours de transformation. »* Pour Vincent Feltesse, président de la CUB, « ce nouveau lien entre les deux rives symbolise une nouvelle logique d'agglomération qui veut à la fois rassembler un peu plus les habitants et pérenniser l'ouverture de Bordeaux au monde. Cette prouesse technologique ne manquera pas de participer au rayonnement métropolitain ».

Après 10 ans de débats et de propositions variées (tunnel, pont à travée de grande longueur, pont mobile...), la solution choisie pour le sixième franchissement est un pont levant situé entre le pont de Pierre et le pont d'Aquitaine, dans la continuité des boulevards urbains. Condition *sine qua non* : sauvegarder la vocation portuaire de la ville en autorisant l'accès des gros navires au centre-ville. Le marché de conception-réalisation a été remporté par le groupement associant GTM, Vinci Construction Grand Projet, Cimolai, Egis JMI, Lavigne Chéron Architectes, Michel Virlogeux et Hardesty & Hanover. « Ce type de projet éminemment complexe agrège de nombreuses spécialités, dont le génie



civil, la mécanique et l'électrotechnique, explique Jean-Marc Tanis, directeur d'Egis JMI. Les conditions de réalisation sont déterminantes dans la conception. Les membres du groupement ont travaillé ensemble dès le départ pour définir les principes de conception, choisir les matériaux, optimiser les quantités et mettre au point les méthodes adaptées aux courants de la Garonne et à la circulation navigable. C'est pourquoi nous avons opté pour la préfabrication des appuis principaux en cale sèche puis le remorquage sur site plutôt qu'une réalisation classique in situ. »

### UNE PORTE DE SALUT

Après quelques modifications du dessin architectural, le chantier est lancé en 2009 pour une mise en service prévue fin 2012. En amont, le futur

pont Jean-Jacques Bosc est à l'étude. Le projet lauréat est un tablier central encadré par deux paires d'élégants pylônes intégrés dans des embases oblongues. Longitudinalement, le pont est supporté à terre par deux culées, puis deux piles intermédiaires et les deux embases. Ces dernières sont protégées en amont et en aval par des îlots « pare-chocs » qui prennent la forme d'enceintes cylindriques indépendantes de l'ouvrage. Les superstructures sont en béton armé, les quatre travées fixes sont des tripoutres à ossature mixte tandis que la travée levante est constituée d'un caisson orthotrope métallique, plus léger. Mue par un système de poulies et de contre-poids logé à l'intérieur de chaque pylône, la travée, une fois levée, libère une passe navigable de 53 m de

### Chiffres clés

Longueur : **433 m**, dont travée levante **117 m (2 650 t)**

Largeur du tablier : **45 m**

Hauteur des pylônes : **77 m**

Largeur utile du caisson orthotrope métallique : **21 m**

Passe navigable : **hauteur 53 m ; largeur 106 m**

Volume de béton : **40 000 m<sup>3</sup>**

Armatures : **4 500 t**

Béton des 4 pylônes : **4 000 m<sup>3</sup>**  
 – Ciment : **CEM II 52,5 PM (Lafarge)**  
 – Classe de résistance : **C 50/60**  
 – Classe d'exposition : **XC4**



3



4

→ 3 • Les îlots de protection sont remorqués par flottaison. 4 • Chaque pylône, haut de 77 m, adopte un fut creux pour accueillir les équipements de levage.

## Entretien

**JEAN-MARC TANIS**, directeur général de Egis JMI et président de l'AFGC, et **MATHIEU CARDIN**, chef de projet adjoint chez Egis JMI

### Focus sur des études techniques particulièrement approfondies

#### Quelles sont les singularités techniques de cet ouvrage ?

*L'une des grandes difficultés consistait à répondre simultanément à deux conditions primordiales : la première exigence consistait à intégrer un grand nombre d'équipements fonctionnels (câbles, ascenseurs, poulies...) indispensables à la mobilité de la travée levante, la seconde était de répondre à l'exigence architecturale de finesse. Cela nous a conduits à faire une recherche aussi approfondie que minutieuse pour réduire l'espace intérieur des pylônes.*

#### Sur quelles études Egis JMI s'est-il particulièrement penché ?

*Dans ce type d'ouvrage, tout doit faire l'objet d'études approfondies, et notamment le comportement et la résistance des appuis sous chocs de bateaux, ou encore les études au vent turbulent... En effet, la travée levante se devait d'être la plus légère possible grâce à l'équilibrage des contrepoids, ce qui la rendait plus sensible aux effets du vent. Sa stabilité a donc fait l'objet d'essais en soufflerie au CSTB de Nantes à partir d'un modèle réduit au 1/70 qui nous ont permis de mettre en œuvre des éléments complémentaires (verrous) et de concevoir les systèmes de guidage le long des pylônes.*

*Par ailleurs, en raison de sa géométrie complexe, nous avons entièrement dessiné l'ouvrage en 3 D dès l'appel d'offres : nous avons ainsi pu détecter avec précision les points de conflits géométriques entre corps d'état, puis décaler ou redimensionner les pièces pour gérer ces interfaces tout en respectant scrupuleusement le parti architectural. ■*

hauteur. Les pylônes en béton sont équipés d'un bandeau vitré toute hauteur côté quai qui affine leur silhouette malgré les nombreux équipements qu'ils contiennent : câbles de manœuvre, escalier en colimaçon, ascenseur de service.

#### UN PONT URBAIN

*« Pour l'architecte, cette solution permettait de créer un geste de bienvenue à l'entrée du port de la Lune », explique Thomas Lavigne, architecte du projet.*

*« Les pylônes étant les éléments les plus visibles, nous avons beaucoup travaillé leur aspect en cherchant à dépasser l'objet purement technique pour leur donner une dimension symbolique. »* Grâce à la forme elliptique des voiles en béton qui s'affinent progressivement vers le ciel, les pylônes s'apparentent à des flèches de cathédrale, tandis que les failles de verre, bientôt mises en lumière par Yann Kersalé, éclairent les circulations verticales.

*« Notre objectif était avant tout de créer un pont urbain qui soit en harmonie avec le patrimoine architectural de Bordeaux et qui s'inscrit dans une dynamique encline à ramener la*

*vie sur le fleuve. »* C'est pourquoi, les architectes ont pris le parti de dissocier les circulations douces des voies routières au moyen de passerelles latérales, véritables balcons sur la Garonne. Sur le tablier principal, deux autres voies sont dédiées aux transports en commun en site propre.

*« Dans un premier temps, les bus seront seuls à l'emprunter »,* explique Bertrand Arnaud de Sartre, chef de projet à la direction des Grands Travaux de la communauté urbaine. *« Mais l'ouvrage est dimensionné pour supporter un tramway ou un tram-train. »*

#### L'INTÉRÊT DE LA PRÉFABRICATION

En raison du contexte fluvial, les membres du groupement ont choisi de préfabriquer une partie des structures en béton (îlots de protection et embases) dans la cale sèche de Bas-sens, à 6 km en aval du chantier puis de les acheminer par flottaison jusqu'à leur emplacement définitif : *« Cette méthode nous épargnait d'avoir à travailler dans le lit de la Garonne, qui est un fleuve très influencé par les marées (inversion du courant, mar-nage de 5 m), les tempêtes en mer*



→ 5 • Les pylônes ont été coffrés au moyen de coffrages semi-grimpants. 6 • L'homogénéité de la teinte des parements a fait l'objet d'une attention soutenue.

ou les fortes pluies, explique Mathieu Cardin, chef de projet adjoint chez Egis JMI. *La préfabrication sur un autre site nous permettait également de gagner du temps et de réaliser les deux estacades d'accès aux futurs appuis dans le fleuve. Nos partenaires (Vinci) avaient adopté cette solution pour le pont de Rion-Antirion en Grèce où elle avait fait ses preuves à une plus grande échelle.* C'est l'entreprise Garandeau, avec les centrales de Bassens, Saint-Jean-d'Ilac et Cavignac, qui a produit la totalité des bétons, issus de plusieurs formules, toutes ayant fait l'objet d'études en laboratoire et de tests de convenance. Sans entrer dans le détail, notons que les éléments courants (voiles intérieurs, raidisseurs, radiers...) sont réalisés en béton de classe de résistance C 35/45 mais qu'en raison de la salinité des eaux, les éléments périphériques et les appuis en rivière ont nécessité un ciment de type prise mer (PM).

## FONDACTIONS

Les éléments préfabriqués ont ensuite été remorqués, échoués sur place et fondés selon des modes différents compte tenu du contexte géologique

hétérogène rencontré (argiles vasardes, sables alluvionnaires de granulométrie variable et substratum constitué de marnes compactes).

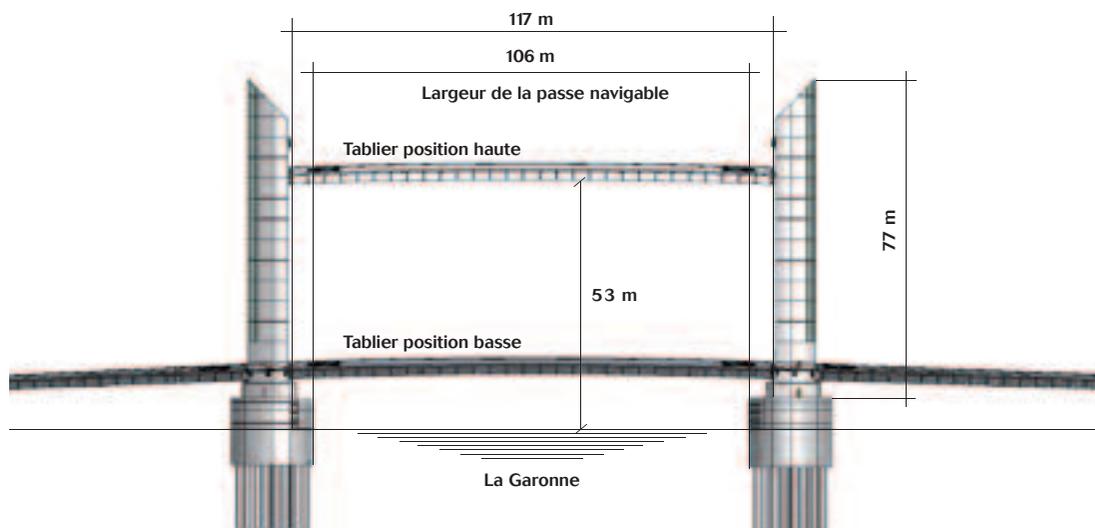
Les culées sont fondées sur pieux (diamètre 800 mm). Pour les piles intermédiaires, les fondations ont été réalisées à l'intérieur de batardeaux prolongés d'avant-becs pour limiter les affouillements.

La pile intermédiaire en rive droite (P4) repose sur un radier « brosse » soutenu par 24 profilés (HEB 700) descendant à - 35 m. En rive gauche,

la fondation superficielle s'appuie directement sur les marnes. Après dragage du fleuve (60 000 m<sup>3</sup> environ) et mise en œuvre d'un lit de graviers, les embases des piles sont positionnées au moyen de tubes servant de guides et glissées au fond par ballastage. Après contrôle de leur position, les opercules prévus au droit des futurs pieux de fondation des piles sont ouverts par des plongeurs afin de permettre la mise en place par vibrofonçage des chemises métalliques traversant les couches de

sable jusqu'aux marnes. L'ancrage profond est assuré par 20 pieux en béton armé (diamètre 1,6 m) forés dans le lit du fleuve à une profondeur de 25 m. Après réalisation d'un béton immergé pour liaisonner les pieux, les embases sont mises à sec et la construction des pylônes peut démarrer.

Les îlots de protection cylindriques (18 m de diamètre) sont destinés à protéger les pylônes en encaissant les heurts éventuels des bateaux avec un minimum de dommages



→ Élévation travée levante.



7



8

→ 7 • Les circulations verticales sont éclairées par des failles de verre. 8 • Le tablier central encadré par 4 tours de levage crée une porte monumentale (photomontage).

pour la structure. Après remorquage depuis Bassens, ils sont placés sur un lit de pose, ancrés par un système de fondations « fusibles » dans les sables et les marnes profonds au moyen de 24 tirants (câbles 7T15) précontraints, puis comblés de matériaux alluvionnaires et d'un béton de rigidité au niveau des zones de chocs.

### LE SUIVI COLORIMÉTRIQUE

Haut de 77 m, biseauté vers le ciel, doté d'un fût creux pour accueillir les équipements de levage (contrepoids, ascenseur, escaliers de secours...), chaque pylône a nécessité 1 000 m<sup>3</sup> de béton et a été érigé au moyen de coffrages semi-grimpants. « Pour répondre aux exigences des archi-

tectes, nous avons été très pointilleux sur le suivi colorimétrique des bétons : un « gris très clair aux reflets blonds » qui « colle » aux façades crème XVIII<sup>e</sup> de la pierre bordelaise, rappelle Séverine Flajoulot, ingénieur Qualité, Prévention, Environnement pour le groupement Vinci. Cette volonté était assortie de l'obligation de recourir à des granulats et des sables régionaux pour limiter l'empreinte carbone des bétons. Nous avons fait appel à François Cussigh, expert béton chez Vinci, pour optimiser les formulations. Nous avons testé une dizaine de formules et avons choisi d'ajouter du sable Sibelco qui tire vers le blanc, et du métakaolin (une argile calcinée). Nous avons par ailleurs imposé un protocole d'engagement (sur 30 mois, quelles que soient les températures extérieures !) aux fournisseurs de chaque constituant de manière à garantir une homogénéité de teinte. » Toujours dans le même but, la centrale de Bassens a été équipée d'une chaudière pour assurer la production du béton des pylônes en période hivernale afin de maintenir un béton à l'arrivée sur le chantier à une température minimale de 15 °C.

La fin des travaux est prévue pour décembre 2012. Après une phase d'essais complets du système de levage, le pont sera mis en service au cours du premier trimestre 2013. ■

**Photos :** Ouverture, 4, 7 et 8 – Lavigne et Chéron Architectes ; 1, 5, et 6 – Egis JMI ; 2 et 3 – Mathieu Cardin JMI

### BATISSIEL 2012

Lancé en 2004 par l'Industrie cimentière en partenariat avec l'Éducation nationale, le concours Batissiel récompense une maquette associée à une analyse fonctionnelle d'un besoin de construction ou d'un ouvrage existant. Participer à Batissiel favorise la découverte des métiers, les relations écoles/entreprises et la mise en œuvre des programmes de technologie pour les classes de 5<sup>e</sup> et de 3<sup>e</sup>. En valorisant une approche du monde professionnel par la découverte des réalisations techniques et des métiers associés, il ouvre les élèves au secteur de la construction (bâtiments et ouvrages d'art) et contribue à la prise en compte des questions sociétales actuelles (sécurité, environnement, santé, etc.). Cette année, le lauréat de la catégorie « Professionnel » est le collège Chambéry de Villenave-d'Omon au sud de Bordeaux pour sa maquette du pont Bacalan-Bastide, présentée avec son mode de fonctionnement (analyse fonctionnelle et dimensionnelle) ainsi qu'une étude de la mise en œuvre sur des coffrages miniatures et démontables avec leurs éléments coulés en microbéton.



Photo : Laurent Izoret



### Maître d'ouvrage :

Communauté urbaine de Bordeaux, direction des Grands Travaux et des Investissements de déplacement

### Conception :

EGIS-JMI ; Architecture et ouvrages d'art : Lavigne et Chéron ; Michel Virlogeux ; Hardesty & Hanover

### Réalisations :

GTM Sud-Ouest TP GC ; Vinci Construction Grands Projets ; Cimolai ; GTM sud

Coût : 157 M€ TTC

# Solutions béton

Le cycle de l'eau	P. 16
La qualité des eaux potables	P. 17
L'assainissement des eaux usées	P. 19
La gestion des eaux pluviales	P. 21



## Les solutions constructives en béton pour les ouvrages du cycle de l'eau

Bien qu'abondante en France, l'eau est une ressource précieuse qu'il convient de préserver pour les générations à venir. On ne saurait parler de Développement Durable tant que les questions relatives à l'eau ne seront pas résolues. La qualité de l'eau potable, le traitement des eaux usées et pluviales constituent un enjeu majeur pour préserver cette ressource. Stations de pompage, usines de production, réservoirs de stockage, stations d'épuration... président à une gestion saine de l'eau. Tout au long du cycle de l'eau, au cœur duquel figurent les hommes et leurs logements, le béton offre des solutions techniques et constructives aussi pertinentes que durables. **Texte : Delphine Désveaux**

# Le cycle de l'eau

La France, pays tempéré, dispose de ressources en eau suffisantes pour satisfaire en quantité à ses besoins. Mais l'eau est une ressource fragile. Trop polluées, nos réserves pourraient ne plus être consommables. En outre, la sensibilité croissante des usagers en faveur de la qualité de l'eau, l'extension de l'urbanisation, les exigences environnementales, l'inadéquation des équipements existants, souvent vétustes et insuffisants, font du marché de l'eau et de l'assainissement un enjeu majeur pour les collectivités territoriales.

## LES LOIS ET LES DIRECTIVES SUR L'EAU

Deux textes fondateurs ont orienté la politique d'assainissement : la directive européenne (21/05/1991) relative au traitement des eaux résiduaires urbaines puis la loi française sur l'eau (03/01/1992) suivie de son décret d'application (03/06/1994) qui garantit la gestion équilibrée des ressources en eau en tant que « patrimoine commun de la nation. »

En 2000, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) fixe le cadre d'une politique européenne afin d'obtenir un « bon état écologique » des eaux en 2015. La loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (Lema 13/12/2006) affine les orientations et les moyens pour atteindre cet objectif.

En juillet 2010, la loi Grenelle 2 a renforcé les exigences environnementales. Elle oblige les communes ou les groupements à procéder à un inventaire détaillé de tous les ouvrages de transport et de distribution des eaux potables et usées. À charge pour elles de renouveler les canalisations en cas de fuites importantes.

## LES TROIS EAUX

On distingue trois types d'eau :

- les eaux potables, produites puis stockées dans des réservoirs ;
- les eaux usées, ménagères et industrielles, chargées en matières organiques, produits toxiques, métaux lourds, traitées avant leur rejet pour limiter la pollution des réserves en eau ;
- les eaux pluviales, chargées en impuretés au contact de l'air et des sols imperméabilisés également traitées avant leur rejet.

Ces trois segments définissent le

cycle de l'eau, qui s'organise lui-même en trois branches :

### ■ le traitement de l'eau potable

consiste à prélever les eaux dans les fleuves ou rivières (35 %) ou par captage dans les nappes souterraines (65 %), à les traiter dans des usines, puis à les stocker dans des réservoirs avant consommation ;

### ■ l'assainissement des eaux usées

vise à collecter et à traiter les rejets des consommateurs, particuliers ou industriels. Il existe deux types d'assainissement :

– **collectif** (80 %), présent en milieu urbain, qui se compose du réseau de collecte et d'une station d'épuration,

– **non collectif** (ou autonome), localisé dans les zones d'habitats dispersés, qui se compose le plus souvent d'une fosse toutes eaux qui assure le traitement aérobie, l'épuration par épandage, le rejet et la dispersion dans le sol ;

### ■ l'assainissement pluvial

recueille les eaux pluviales qu'il traite avant leur rejet dans le milieu.

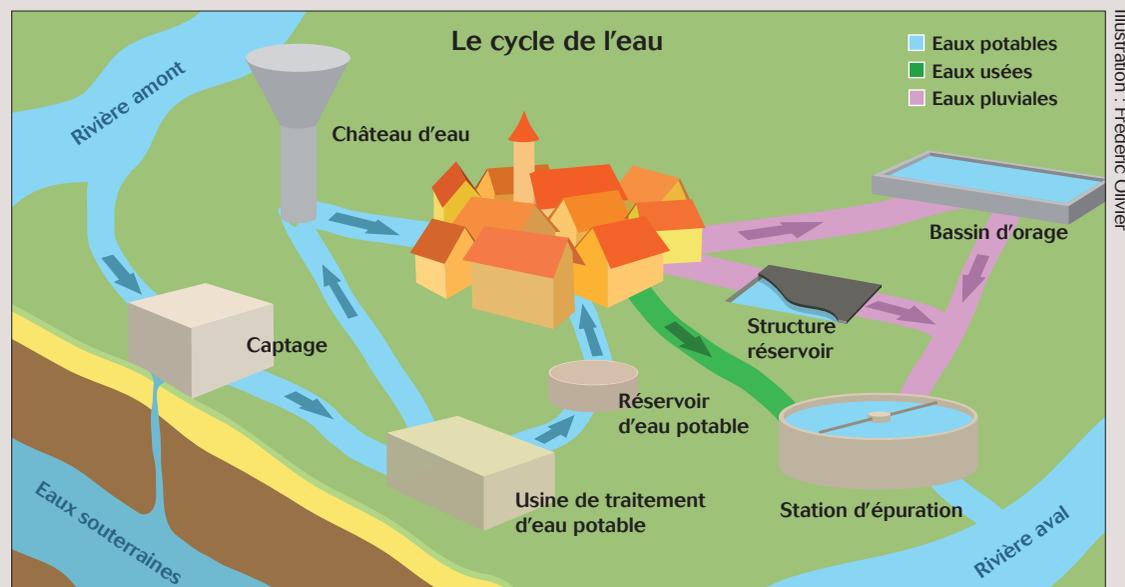
Les eaux usées et pluviales sont collectées :

– soit dans les réseaux d'assainissement **unitaires**, qui recueillent indifféremment les eaux pluviales et les eaux usées,

– soit dans les réseaux **séparatifs**, composés d'un réseau pour les eaux usées et d'un autre pour les eaux pluviales, construits dans les zones d'urbanisation récentes.

À toutes les étapes de ce cycle et pour chaque type d'infrastructure, le béton offre des solutions constructives pertinentes et durables face aux agressions des eaux usées ou des traitements chimiques. La stabilité de sa structure minérale et sa résistance mécanique sont la garantie d'un matériau sûr, sain, résistant, dont la durée de vie est largement supérieure à la durée des amortissements financiers. ■

Chiffres clés	
<b>L'EAU EN FRANCE</b> (en milliards de m <sup>3</sup> )	
Réserves en eaux souterraines :	<b>2 000</b>
Apport annuel d'eaux pluviales :	<b>440</b>
Évaporation :	<b>270</b>
Écoulement vers la mer :	<b>170</b> (par infiltration ou ruissellement)
Consommation annuelle d'eau : <b>40</b>	
– usages domestiques :	<b>5</b>
– usages industriels :	<b>5</b>
– usages agricoles :	<b>5</b>
– usages pour les centrales électriques :	<b>25</b>
<b>Chaque Français consomme environ 150 à 200 litres d'eau par jour</b>	



# La qualité des eaux potables

Le réseau d'eau potable distribue chaque année entre 5 et 6 milliards de m<sup>3</sup>. 70 % des services publics d'eau potable sont gérés directement par la collectivité compétente. Cependant, en termes de population, le rapport s'inverse puisque près de 60 % de la population française est desservie par un délégataire.



Morphing de synthèse : Lelli Architectes, Dominique & Giovanni Lelli

→ Chantier du réservoir d'eau potable R7 de Villejuif : les deux volumes longilignes semi-enterrés seront habillés de panneaux en BFUP adoptant des formes différentes et des nuances vertes au moyen d'un béton teinté revêtu d'incrustations de billes de verre dont les reflets évoquent le scintillement de l'eau.

## LA GESTION DU PATRIMOINE EAU POTABLE

À la suite de la loi Grenelle 2 (juillet 2010) qui oblige les collectivités à réaliser avant fin 2013 un inventaire des ouvrages liés à la collecte et au transport des eaux, potables ou usées, ces dernières, conscientes de leurs responsabilités, souhaitent investir dans des réseaux durables, dont le coût intègre à la fois une technique qui garantisse la maîtrise des risques naturels, mais aussi l'exploitation et l'entretien à long terme. Des solutions à base de béton permettent de réaliser des ouvrages pérennes liés au captage, au traitement et au stockage de l'eau potable :

- les stations de pompage, de refoulement ou de relèvement : les eaux sont pompées dans les cours d'eau ou captées dans des nappes souter-

raines puis transportées vers des usines de traitement. Lorsque les eaux sont collectées en contrebas d'un exutoire, une station de relèvement permet d'alimenter le réseau gravitaire principal ;

- les usines de production d'eau potable : la dégradation des eaux naturelles, exposées à des pollutions diverses, et l'évolution des normes toujours plus strictes de potabilité imposent de traiter les eaux avant de les distribuer dans le réseau d'alimentation. Ces exigences croissantes nécessitent des traitements spécifiques (désinfection par dénitrification, ozonation...) qui viennent s'ajouter aux traitements physico-chimiques (décantation, filtration...) et biologiques (micro-organismes) ;
- les réservoirs : qu'ils soient semi-enterrés, enterrés ou surélevés (châ-

teaux d'eau), les réservoirs assurent le rôle de tampon entre les usines de production d'eau potable et la distribution de l'eau chez les usagers. Ils se remplissent la nuit et se vident le jour lorsque la consommation est importante.



Photothèque : Léon Grosse - DR

→ Réservoir d'eau potable de Saint-Cloud : une partie du site a été démolie pour laisser place à une nouvelle usine adaptée aux exigences de potabilité.

## Fiche technique

**Maître d'ouvrage :** Syndicat des Eaux d'Île-de-France (SEDIF)

**Maître d'œuvre :** Sogreah ;  
BG Ingénieurs Conseils ;  
Lelli Architectes

**Volume de stockage :** 50 000 m<sup>3</sup>

**Volume de béton :** études en cours (2 000 m<sup>2</sup> environ de panneaux en BFUP)

## Chiffres clés

### Eaux potables

#### Sources :

- pompage dans les cours d'eau : 1 300 captages ;
- captage des eaux souterraines : 32 000 captages.

#### Infrastructures de traitement et de stockage d'eau potable en béton :

- stations de pompage, de refoulement ou de relèvement ;
- 3 000 usines de traitement ;
- 14 000 usines de production d'eau potable ;
- 15 000 réservoirs.

#### Canalisations et distribution :

- 850 000 km de canalisations ;
- 15 000 km de branchements.

#### Production :

- 5 à 6 milliards de m<sup>3</sup> ;
- 26 millions d'abonnés ;
- 98 % des Français desservis en eaux potables.

## RECYCLER LE BÉTON : USINE D'EAU POTABLE DE SAINT-CLOUD

Saint-Cloud est l'un des cinq principaux réservoirs d'eau potable de la ville de Paris. Divisé en trois compartiments (1893-1900, Fulgence Bienvenüe), il alimente l'ouest de la capitale. Entre 1935 et 1938, un second réservoir est construit. N'étant plus conforme aux nouvelles exigences de potabilité, un cinquième du site a été démolé pour laisser place à une nouvelle usine d'affinage par filtration membranaire. Cette nouvelle unité reçoit des eaux captées à l'ouest de Paris et traite en continu 100 000 m<sup>3</sup>/jour, soit plus de 15 % de la consommation parisienne quotidienne. Le groupement Degrémont/Léon Grosse/AAE du groupe AIA a choisi d'enterrer les trois bâtiments (réservoir en béton, espace tertiaire et usine de traitement) et de végétaliser les enveloppes pour maintenir la qualité paysagère de ce site implanté en zone résidentielle, à proximité de l'hippodrome de Saint-Cloud. Pour satisfaire au référentiel HQE® de la SAGEP, Léon Grosse devait réemployer le béton issu de la démolition, concassé en granulats, pour les bétons de l'usine, à l'exception des ouvrages hydrauliques, réalisés en béton traditionnel. C'était, en 2005, une première dans ce domaine. Trois formules ont fait l'objet d'épreuves d'études selon les recommandations du fascicule 65A auxquelles se sont ajoutés des ajustements minimaux en cours de chantier, en particulier un ajout de sablon, qui ont permis d'assurer une mise en œuvre comparable à celle d'un béton traditionnel, avec une résistance mécanique bien meilleure qu'escompté et une excellente qualité de parement. La difficulté majeure a été d'assurer l'homogénéité dans le temps du matériau recyclé, notamment vis-à-vis de la teneur en eau et en fines. Elle a été résolue par la mise en place d'un suivi qualité. ■



Photo : AAE – Anguil Calanidou

→ Après concassage, les bétons des bâtiments démolis (3 000 t) ont été utilisés comme granulats (0/20 mm) pour les bétons de l'usine.

### Fiche technique

**Maître d'ouvrage :** Eau de Paris

**Maître d'œuvre :** AAE (Architectes associés pour l'environnement) du groupe AIA

**Réalisation :** Degrémont, Léon Grosse

**Capacité :** 100 000 m<sup>3</sup>/jour (15 % de la consommation journalière parisienne)

**Bétons :** 5 600 m<sup>3</sup>

**Coût :** 22 M€

### Point de vue de l'expert

**JEAN-MARC POTIER**, chargé de missions techniques au SNBPE  
(Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi)

## Attestation de Conformité Sanitaire des bétons au contact de l'eau potable

Conformément aux dispositions de l'article R.132.148 du code de la santé publique, les matériaux et les objets mis sur le marché et destinés aux installations fixes de production, de distribution et de conditionnement entrant en contact avec l'eau destinée à la consommation humaine, dans les conditions normales ou prévisibles de leur emploi :

- ne doivent pas être susceptibles de présenter un danger pour la santé humaine, ni d'altérer la composition de l'eau par rapport aux limites et références de qualité fixées dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine ;
- doivent respecter des règles de composition, conformément aux articles 2 et 3 de l'arrêté du 29 mai 2007 modifié stipulant que les responsables de la mise sur le marché de ces matériaux et objets ainsi que les opérateurs appelés à intervenir dans la réali-

sation d'installations fixes de production, de distribution et de conditionnement d'eau doivent disposer des preuves de conformité sanitaire de leurs produits. Dans ce cadre, les autorités sanitaires ont développé un système d'Attestation de Conformité Sanitaire (ACS) permettant d'évaluer l'aptitude d'un produit à entrer au contact d'une eau destinée à la consommation humaine. Le système d'ACS était notamment développé pour les produits PVC et résines organiques. Pour les matériaux à base de ciment, la procédure était réalisée par certains fabricants de mortiers industriels ainsi que par des industriels préfabriquant des tuyaux en béton. Mais ces attestations étaient inenvisageables pour le BPE compte tenu du nombre infini de formules. C'est pourquoi le ministère de la Santé étudie une procédure simplifiée basée sur la validation de formules types. En attendant les validations des normes d'essais

européennes (2015), un avis paru le 24 février 2012 atteste la conformité sanitaire d'un béton au contact de l'eau potable dès lors qu'il respecte les prescriptions suivantes :

- l'eau de gâchage doit être conforme à la norme NF EN 1008 ;
- les granulats doivent être d'origine naturelle ;
- les ciments doivent être conformes à la norme NF EN 197-1 ou à la norme NF P 15-314 relative au ciment prompt naturel ;
- les additions minérales doivent être conformes aux prescriptions pour les additions de la norme ciment NF EN 197-1 ou aux dispositions de l'annexe II-I de l'arrêté du 29 mai 1997 (fillers calcaires ou silicieux) ;
- les adjuvants et ajouts organiques doivent disposer d'une conformité aux listes positives (CLP) en cours de validité.

Ces conditions réunies, une attestation sur l'honneur aura valeur d'ACS sans qu'aucun essai ne soit nécessaire. ■

# L'assainissement des eaux usées

L'assainissement vise à collecter, transporter puis épurer les eaux usées avant de les rejeter dans le milieu naturel en les débarrassant de la pollution dont elles sont chargées. L'objectif essentiel étant d'assurer la protection sanitaire des populations et de maintenir la qualité de l'environnement.

Ces eaux usées résultent des consommations domestiques et industrielles. Les premières contiennent les résidus des eaux de cuisine, des sanitaires, des opérations de nettoyage ménager. Leurs débits sont réguliers, prévisibles, avec des pointes journalières et périodiques. Chargés en matières organiques, détergents, graisses... ces rejets doivent être traités. Les effluents industriels proviennent des usines et des établissements agricoles. Ils sont de ce fait très différents et nécessitent parfois, avant l'épuration, un traitement préalable qui incombe aux industriels : refroidissement de l'eau rejetée, décantation des matières inertes, filtrage des matières flottantes, élimination de toute substance susceptible de générer des gaz, des vapeurs toxiques ou inflammables.

## Chiffres clés

### Eaux usées

#### Canalisations et ouvrages de traitement du réseau d'assainissement collectif :

– 250 000 km de canalisations (dont 100 000 de réseau unitaire) qui drainent les eaux de 50 millions d'usagers ;

– 75 % : rendement moyen des stations d'épuration ;

– 95 % des communes de 10 000 habitants disposent d'une station d'épuration ;

– 19 300 stations de traitement des eaux usées (STEU) qui représentent une charge polluante globale de 76 millions d'équivalents-habitants (Eh) pour une capacité épuratoire de l'ensemble des STEU de 96 millions d'Eh.

(Source : MEDDE, portail d'information sur l'assainissement communal, 2011)

Le transport des eaux usées s'effectue en général par gravitation dans des canalisations. Lorsque la configuration du terrain ne permet pas un écoulement satisfaisant, des stations de relèvement et de pompage sont installées au sein du réseau.

### RÉSEAU COLLECTIF OU AUTONOME ?

Comme le prévoit la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, l'assainissement des eaux usées répond à deux préoccupations majeures : préserver les ressources en eau ainsi que le patrimoine naturel et la qualité de vie. C'est pourquoi tout immeuble d'habitation doit être relié à un réseau d'assainissement collectif ou autonome. Depuis 1994, chaque commune est tenue de déterminer sur son territoire les zones relevant de l'assainissement autonome, c'est-à-dire individuel, et de l'assainissement collectif.

■ Essentiellement situé en milieu rural ou périurbain, le **réseau non collectif** concerne des zones d'habitats dispersés non raccordés au réseau public d'assainissement (10 à 15 millions de personnes). Ce dispositif, qui assure la collecte, le traitement et l'élimination des eaux usées domestiques de manière autonome, est situé à proximité de l'habitation. Il comprend en général une fosse toute eau ou une fosse septique l'une ou l'autre assurant le prétraitement anaérobie, un système d'épuration par épandage ou tranchées d'infiltration, un système de rejet et de dispersion par le sol dans les limites de la propriété.

Considérées comme un mode d'épuration à part entière, ces instal-

lations doivent respecter des normes draconiennes de conception, de réalisation et d'entretien qui sont contrôlées par les SPANC (Service Public d'Assainissement Non Collectif) des collectivités sous l'autorité du maire.

■ Jusqu'à la moitié du xx<sup>e</sup> siècle, l'**assainissement collectif** consistait à créer des réseaux (tout-à-l'égout) afin d'éloigner les risques de pollution des centres-villes. Mais l'expansion urbaine a engendré une augmentation de la consommation d'eau potable et, de fait, celle des débits d'eaux usées à traiter.

C'est pourquoi, depuis la loi sur l'eau du 16 décembre 1964, la notion d'assainissement comprend la collecte des eaux usées ainsi que l'unité d'épuration (eaux et boues). Par ailleurs, il convient de distinguer les réseaux unitaires, qui recueillent les eaux usées et les eaux pluviales dans les mêmes canalisations, et les réseaux séparatifs qui les dissocient dans deux circuits séparés.

### LES STATIONS D'ÉPURATION

Obligatoires pour les collectivités de plus de 2 000 habitants, les stations d'épuration d'effluents urbains sont généralement constituées de deux filières distinctes de traitement : la filière eau épure les effluents ; la filière boue traite les boues générées par le traitement des eaux. Il s'agit en général d'installations de génie civil où le béton offre des solutions techniques pertinentes et durables telles que l'étanchéité des parois, le bon comportement des ouvrages dans un milieu particulièrement agressif. Avec la Directive Européenne sur les eaux Résiduaires Urbaines (DERU), les critères de dépollution sont plus exigeants, nécessitant des systèmes d'épuration complémentaires extrêmement pointus pour éliminer toujours davantage et améliorer la qualité des rejets. De nouveaux équipements voient ainsi le jour, comme l'unité complémentaire de dénitrification des eaux usées Seine-Aval du SIAAP à Achères, récemment inaugurée. ■



Photo : Hervé Abbadie

→ Usine de traitement des pollutions azotées, SIAAP, Achères. L'architecte Luc Weizmann entre dans la logique technique de ces bâtiments fonctionnels pour mettre de la plastique et de l'esthétique.



→ Station d'épuration de Capo Lauroso, golfe de Propriano : la perception visuelle de l'équipement est réduite et vient se glisser dans le site.

## STATION D'ÉPURATION DE CAPO LAUROSO EN CORSE

Les communes de Propriano et Sartène avaient chacune une station d'épuration, considérées comme obsolètes en termes de fonctionnement et de capacité depuis la directive européenne sur l'assainisse-

ment des eaux résiduaires urbaines. C'est pourquoi la communauté de communes du Sartenais-Valinco a décidé de se doter d'une infrastructure conjointe pour la captation et le traitement de leurs effluents. « *Bien qu'onéreux, nous avons choisi le système de filtration membranaire*

*qui offre une véritable solution à l'important problème des variations de débits entre l'hiver et l'été, où la population quintuple* », explique Jean Pajanacci, vice-président de l'intercommunalité. *Cette technique permettait en outre de diminuer d'un tiers la perception visuelle de l'équipement en évitant la présence de deux grands bassins de décantation.* »

Car étant située dans le magnifique golfe de Propriano, la future station d'épuration devait s'insérer au mieux dans le paysage.

La station, point central du projet, a été réalisée avec plusieurs bétons, tous formulés pour la classe d'exposition XA2 :

- sous les ouvrages de fondations (bâtiments techniques et exploitation) ;
- semelles filantes sous les murs périphériques et les murs de refend du bâtiment d'exploitation ;
- radier sous l'ensemble des bâtiments techniques ;
- ouvrages en béton armé :
  - voiles périphériques enterrés,
  - voiles périphériques en élévation de l'ensemble des bâtiments, hors voiles enterrés : avec un critère de parement soigné sur les faces extérieures (P3), E (3.2.3), T(1),
  - voiles intérieurs de l'ensemble des

bâtiments : avec des parements type soigné sur les faces extérieures,
 

- dalles horizontales pour l'ensemble des planchers intermédiaires et la toiture,
- escaliers et paliers : coulés en place avec parement soigné en sous-face.

 Une fois traitées, les eaux sont rejetées par un émissaire à un kilomètre de la côte. ■

### Les acteurs de la gestion des eaux

L'Union européenne finance certains travaux liés au cycle de l'eau.

À l'échelon national, la direction de l'Eau au sein du MEEDDAT programme et coordonne les interventions de l'État.

À l'échelle des sept bassins hydrographiques, les Agences de l'eau appliquent, au travers des Schémas D'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et de leurs déclinaisons locales (les SAGE), les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau. Percevant des redevances, les agences contribuent au financement d'opérations d'intérêt collectif.

Les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL, ex-DIREN) assurent la cohérence de la mise en œuvre des politiques publiques sur l'eau.

Au niveau départemental, les services décentralisés de l'État, cofinanceurs des ouvrages, mettent en œuvre les aspects réglementaires et techniques sous l'autorité du préfet.

Localement, les communes (36 772) ou les groupements intercommunaux (4 500) sont responsables de la gestion et des investissements liés aux services publics d'eau potable et d'assainissement. Toute collectivité doit déterminer sur son territoire les zones relevant de l'assainissement collectif ou autonome. Des services techniques dédiés assurent cette gestion, mais elle est le plus souvent déléguée à des opérateurs extérieurs (Veolia, Ondeo ou la Saur) en raison des investissements lourds et de la complexité croissante des systèmes et des normes. Quel que soit le mode de gestion, les collectivités sont propriétaires des équipements et responsables vis-à-vis des usagers de la qualité, du coût et de la pérennité de ce service.

### Ouvrages en béton pour la collecte, le stockage et le traitement des eaux usées :

- canalisations des réseaux d'assainissement collectif ;
- collecteurs ;
- usines d'épuration ;
- usines de traitement des boues ;
- émissaires en mer.

### Fiche technique

**Maître d'ouvrage :** Communauté des communes du Sartenais-Valinco

**Maître d'œuvre :** BET Pozzo di Borgo, mandataire ; Egis Eau

**Architecte :** Paul Milon

**Construction :** SAS Stereau France Sud (filiale traitement des eaux de la Saur)

**Coût :** 10,5 M€ HT

# La gestion des eaux pluviales

L'imperméabilisation croissante des sols en site urbanisé, l'intensification des événements pluvieux, la volonté de maîtriser les rejets et les pollutions... au cœur de ces réalités, la gestion des eaux pluviales est devenue un enjeu considérable dans le cycle de l'eau.

Contrairement à une idée répandue jusqu'à une période récente, les eaux pluviales ne peuvent être considérées comme non polluées. Chargées d'impuretés au contact de l'air, elles contiennent notamment des matières solides en suspension ou non et des hydrocarbures issus essentiellement du lessivage des surfaces sur lesquelles elles ont ruisselé.

## RÉSEAU UNITAIRE OU SÉPARATIF ?

Les réseaux historiques (jusqu'en 1950) sont essentiellement **unitaires** (80 %) c'est-à-dire qu'ils mélangent les eaux usées et les eaux pluviales. Ce type de réseau cumule les avantages d'être économique et simple, mais la conception et le dimensionnement des collecteurs et des stations de traitement nécessitent de tenir compte des variations importantes des débits des eaux pluviales, en particulier lors des orages. D'autant que l'expansion urbaine et la nécessité de traiter les eaux pluviales ont eu des conséquences lourdes dans la majorité des agglomérations : inondations fréquentes des points bas, saturation du système d'assainissement, défaillances des systèmes de transport et de traitement, pollution des milieux récepteurs... C'est pourquoi les zones d'urbanisation construites à partir des années 60 ont opté pour un réseau **séparatif** qui dissocie les eaux usées des eaux pluviales dans deux réseaux. Une solution pertinente puisqu'elle évite de surdimensionner les réseaux, d'adapter le traitement des eaux et d'améliorer la protection du milieu récepteur. Le caractère exceptionnel des événements pluvieux n'est pas sans poser divers problèmes techniques.

## Point de vue de l'expert

**PHILIPPE MILLARD**, ancien directeur des Grands Travaux du SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne)

## Un peu d'histoire sur l'assainissement

**Pour quelles raisons le réseau francilien est-il unitaire à 95 % ?**  
Le système parisien a été créé dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle pour pallier les épidémies de choléra. Le préfet Haussmann décida de réaliser un réseau d'assainissement unique pour transporter les eaux usées domestiques et pluviales à l'aval de Paris jusqu'à Clichy, où l'eau décantait quelques heures avant d'être rejetée dans la Seine, qui devint peu à peu un

égout à ciel ouvert. Le système de traitement par champs d'épandage vit alors le jour pour filtrer les eaux usées à travers le sol. Après 1930, il y eut une telle augmentation de la population parisienne qu'il a fallu industrialiser le traitement des eaux. C'est ainsi que sont nées les stations d'épuration, à commencer par Seine-Aval à Achères en 1940, la plus importante d'entre elles.

## Et pour le reste de la France ?

En ce qui concerne les villes où l'urbanisation et l'assainissement datent de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, ce qui est le cas de nombreuses villes de province et de la grande banlieue parisienne, les réseaux ont été mis en séparatif dès le départ. Cela facilite le traitement, évite de surdimensionner le réseau et protège mieux le milieu récepteur. ■

En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration pouvaient imposer un délestage de ce mélange plus ou moins pollué dans le milieu naturel. Afin d'éviter ce déversement, des **solutions tampons** (bassins d'orage, bassins de rétention...) sont aménagées pour éviter l'engorgement des canalisations et des équipements de traitement, dimensionnés pour un débit courant, et écrêter les excès. Ces derniers sont donc recueillis, stockés temporairement, décantés avant d'être restitués par débit contrôlé dans les réseaux et les milieux récepteurs. Les équipements de stockage des excès d'effluents varient selon les manières de traiter les eaux pluviales. Soit elles sont :

■ traitées directement dans une usine dimensionnée pour faire face

aux augmentations soudaines de débits ;

■ stockées dans des bassins de retenue ou d'infiltration pour les réseaux séparatifs ou des déversoirs d'orage pour les systèmes unitaires, de façon à réguler le débit des effluents parvenant dans les stations d'épuration, et du même coup à étaler dans le temps le traitement des eaux ;

■ prétraitées localement dans des bassins de décantation.

Outre ces techniques, l'un des moyens le plus efficace pour gérer la pollution pluviale est la mise en œuvre de **solutions alternatives** (structure réservoir, fossé drainant, puits d'infiltration...) qui combinent les principes de rétention et d'infiltration, le tout visant à limiter les effets d'imperméabilisation des sols et le ruissellement des eaux en absorbant ponctuellement l'excès d'effluents. ■

## Chiffres clés

### Eaux pluviales

#### Canalisations et ouvrages de traitement :

- 80 000 km de canalisations ;
- 25 000 déversoirs d'orage pour écrêter les débits de pointe ;
- 12 000 bassins de stockage en amont des stations de traitement.

#### Infrastructures de collecte, de stockage et de traitement :

- écrêtement des débits par stockage :
  - déversoirs d'orage,
  - réservoirs,
  - bassins d'orage,
  - bassins tampons, de retenue et de rétention,
  - structures réservoirs ;
- stations d'épuration.



Photos : lpepek@balloide-photo.com

## Fiche technique

**Maître d'ouvrage :** Lille Métropole  
Communauté Urbaine – Direction  
Eau et Assainissement

**Maître d'œuvre :** Coyne et  
Bellier ; Prolog ingénierie

**AMO géotechnique :** CETE

**Entreprises :** Norpac ;  
Solétanche Bachy ;  
Feljas & Masson

**Coût :** 10 M€ HT

→ Le bassin de lutte contre les inondations de Chaude Rivière se compose de deux bassins circulaires en béton reliés par un canal de surverse. En débit de pointe, l'alimentation du bassin est de 21 m<sup>3</sup>/s.

### BASSIN D'ORAGE DE CHAUDE RIVIÈRE

Afin de respecter les échéances réglementaires de la loi sur l'eau, Lille Métropole Communauté Urbaine a engagé des travaux pour moderniser ses usines de traitement et lancer une véritable chasse aux fuites

dans les 4 000 km de canalisations d'ici 2013. Ces mesures sont couplées à la construction d'infrastructures de rétention des eaux pluviales et de redimensionnement des collecteurs aux endroits stratégiques de la métropole. Mis en service en 2009, le bassin d'orage de Chaude Rivière

est enterré et se compose de deux réservoirs (2 x 20 000 m<sup>3</sup>) en béton, le second étant alimenté par surverse du premier. Le fond du bassin (80 cm d'épaisseur) est tapissé de 200 micropieux pour supporter la pression de l'eau. Après décantation, une partie de l'eau de pluie recueillie

est reversée dans la Deûle via une conduite de 550 m de longueur tandis que le restant est acheminé vers la station d'épuration. Des augets (cuvettes) en béton basculent quand ils sont pleins pour se vider, ce mouvement créant une minivague qui nettoie le fond des bassins. ■

## Point de vue de l'expert

**SOPHIE JACOB**, ingénieure au pôle Travaux Publics au Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB).

### Structure réservoir : Hydrocyl®

#### À quoi sert Hydrocyl® ?

Hydrocyl® est un produit préfabriqué en béton avec lequel sont réalisées les chaussées réservoirs. Il s'agit de cylindres creux placés sous la chaussée afin de stocker les précipitations massives. Sa forme permet un écoulement multidirectionnel qui lui confère une forte capacité d'absorption et de stockage temporaire. Le volume recueilli est ensuite restitué par débit contrôlé dans le réseau ou infiltré dans le milieu naturel. Depuis la loi Grenelle 2 qui permet aux communes d'instaurer une taxe sur la gestion des

eaux pluviales urbaines, les aménageurs sont particulièrement vigilants et s'attachent à collecter les eaux pluviales au plus près de l'endroit où elles tombent. Avec des conditions de pose faciles et rapides, la solution Hydrocyl®, beaucoup plus économe en foncier qu'un bassin de rétention à ciel ouvert, permet de répondre à cette problématique dans les milieux urbains ou périurbains.

#### Quels sont les avantages du béton ?

La résistance mécanique et les propriétés du béton –non gélif, étanche, inerte aux agressions

chimiques des eaux de ruissellement, insensible aux attaques des rongeurs – facilitent l'exploitation et assurent la pérennité de l'installation. Mais ces critères ne suffisent plus : le raisonnement doit aujourd'hui intégrer le coût global et l'impact environnemental.

Là encore, le béton est intéressant car sa fabrication consomme une faible quantité d'énergie, en raison notamment de son durcissement à froid et ses composants (granulats, ciments et eau) sont disponibles sur l'ensemble du territoire national. ■

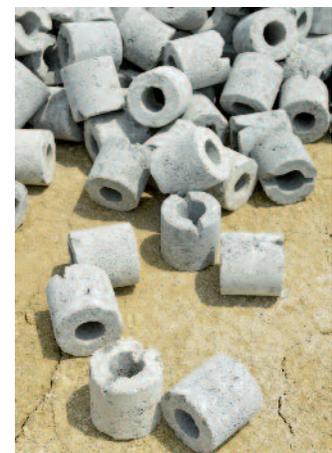


Photo : Photothèque CERIB

#### Hydrocyl®

Poids : 1 t/m<sup>3</sup>

Dimensions : 80 mm, hauteur :

80 mm, épaisseur : 20 mm

Vitesse d'absorption : 1 m/s

Capacité de stockage : 600 l/m<sup>3</sup>

Perméabilité : 1 m/s



# Inscrit dans une démarche de **construction durable**

Pour la construction du Grand Stade du Havre, qui allie des contraintes élevées tant au plan architectural que technique, Sogea (Vinci Construction) a établi un cahier des charges très strict imposant des exigences sur la qualité des matériaux. Le résultat est à la hauteur des ambitions de ses concepteurs : un stade de 25 000 places, emblème urbain de l'agglomération havraise, qui s'inscrit dans une démarche de Développement Durable. Construit à partir d'un ciment à taux réduit en CO<sub>2</sub>, il est le premier stade en France à produire plus d'énergie qu'il n'en a besoin pour fonctionner. Texte : Marc Montagnon



1



2

→ 1 et 2 • 80 portiques monumentaux reprennent les efforts de l'enveloppe.

**Le nouveau stade** du Havre Athletic Club, l'un des plus vieux clubs de football français (club créé en 1872), est implanté à l'entrée de la ville et complète les grands repères architecturaux que constituent déjà dans le grand port normand l'espace culturel Oscar Niemeyer et l'église Saint-Joseph d'Auguste Perret. De loin, son volume s'apparente à une lentille optique géante, en dégradé de bleu, du clair au foncé, aux courbes adoucies.

À l'intérieur, il possède toutes les qualités d'un équipement sportif de haut niveau, pour le football ou le rugby, mais il s'affirme aussi comme un équipement multifonctionnel qui pourra accueillir toute manifestation festive à caractère grand public. Le stade proprement dit occupe 4,5 hectares dans une enceinte de 11 hectares à l'entrée de la ville, à un jet de pierre de l'ancien stade Jules Deschaseaux. Outre les gradins classiques des tribunes nord, est et sud, la tribune ouest abrite un bâtiment de cinq niveaux, de 80 m de longueur et 25 m de largeur, à l'intérieur duquel sont installés des équipements techniques, des loges et des salons. Le parking de 530 places et les tribunes du niveau « pelouse » sont constitués d'une structure poteaux-poutres qui supporte le parvis, constituant le niveau 0 du stade et permettant l'accès au lieu ainsi qu'à la circulation, en périphérie, pour les véhicules de secours.

### CONCEPTION, RÉALISATION ET GESTION HQE®

Le Grand Stade du Havre est conçu, réalisé et sera géré selon une démarche HQE®.

En particulier, les impacts environnementaux ont été réduits pendant la construction à plusieurs niveaux : gestion et valorisation des déchets, limitation des nuisances, réduction des pollutions, gestion des consommations d'énergie et des fluides. La production d'électricité nécessaire au fonctionnement de l'ouvrage est assurée par 1 500 m<sup>2</sup> de capteurs photovoltaïques. Un système de récupération des eaux de pluie en toiture permettra l'arrosage de la pelouse et l'alimentation des sanitaires. Les matériaux utilisés ont été sélectionnés en fonction de leur empreinte environnementale réduite et de leur facilité d'entretien.

### UN ASSEMBLAGE COMPLEXE

Le niveau sous parvis comprend, en tribune ouest, une structure poteaux-poutres en béton armé : 5 900 m<sup>2</sup> de voiles, 8 500 m<sup>2</sup> de planchers en dalles alvéolées en béton précontraint de 20 à 36 cm d'épaisseur, 3 900 m<sup>2</sup> de planchers coulés en place et 17 crémaillères préfabriquées sur site. Les 1 730 ml de gradins sont préfabriqués en usine et les 4 cages d'escalier en volées sont préfabri-

quées sur site. Ce même niveau qui inclut les tribunes nord, est et sud est constitué dans cette zone d'une structure poteaux-poutres précontrainte pour les poteaux de pieds de portiques, de 7 600 m<sup>2</sup> de voiles, de 20 500 m<sup>2</sup> de planchers en dalles alvéolées en béton précontraint de 20 à 36 cm d'épaisseur, de 3 600 m<sup>2</sup> de planchers coulés en place, de 36 crémaillères préfabriquées sur site, de 7 940 ml de gradins préfabriqués en usine et de 7 cages d'escalier en volées préfabriquées sur site. C'est à partir du niveau 0 qu'est érigé le reste de la structure, notamment les portiques en béton destinés à supporter les gradins hauts ainsi que la structure métallique périphérique. De ce fait, les dalles du parvis devaient être en mesure de supporter la charge des matériels nécessaires à la réalisation du chantier, dont les outils coffrants, sans dalle de compression, pendant toute la phase de construction. Une fois le stade en activité, elles devront résister à la circulation et au déploiement des véhicules de pompiers sur tout l'espace périphérique, soit 16 tonnes sur 0,2 m<sup>2</sup>.

#### Chiffres clés

Terrassements : **87 000 m<sup>3</sup>**

Fondations : **1 100 pieux**

Béton : **43 000 m<sup>3</sup>**

Armatures : **2 400 t**

Poutres à crémaillère : **224**

Gradins préfabriqués : **14 km**

Dalles alvéolaires précontraintes : **30 800 m<sup>2</sup>**

Charpente métallique : **2 800 t**

Couverture ETFE : **34 000 m<sup>2</sup>**

Durée de réalisation : **22 mois**

Mise en service : **mai 2012**



3

→ 3 • Le béton armé ou précontraint, prêt à l'emploi ou préfabriqué, est le matériau privilégié pour cette réalisation.

### Construire durablement avec des ciments à taux réduit en CO<sub>2</sub>

Agir sur l'empreinte environnementale des constructions est aujourd'hui primordial. Afin de contribuer à la réduction de l'empreinte carbone des bâtiments, Lafarge a lancé dans l'ensemble de ses cimenteries en France une nouvelle offre de ciments à taux réduit en CO<sub>2</sub> ou multiconstituants.

Élément principal des bétons à bas carbone, ces ciments sont réguliers et fiables et assurent, tout en préservant l'environnement, les performances des bétons (stabilité statique et dynamique, tenue au feu, inertie thermique, acoustique, esthétique, sanitaire...) pour répondre aux multiples exigences imposées par les ouvrages de tous types. Ces ciments permettent de construire des ouvrages à impact environnemental maîtrisé avec des solutions constructives courantes.

### DES DALLES ALVÉOLÉES PRÉCONTRAINES

Pour la réalisation du parvis, Vinci Construction a orienté son choix sur des dalles préfabriquées plutôt que sur un béton coulé en place. Plus simples à mettre en œuvre, elles assurent un gain de temps précieux tout en autorisant de grandes portées, en l'occurrence de 12,56 m.

Conçues par Echo France, ces dalles en béton précontraint de 36 cm d'épaisseur se caractérisent par un profil spécifique qui comporte

6 alvéoles oblongues affinées pour laisser passer trois armatures en acier de 15 mm de diamètre par nervure.

Au total, 2 400 dalles alvéolaires ont été mises en œuvre sur le chantier.

En fin de chantier, la zone périphérique de cette structure a été recouverte d'une dalle béton avec traitement de surface en béton désactivé qui sert en même temps de dalle de compression ; côté intérieur, elle reçoit un traitement de surface en béton ciré quartzé.

### DES PORTIQUES MONUMENTAUX EN BÉTON PRÉCONTRAIT

La réalisation des 80 portiques destinés à reprendre les efforts de la charpente métallique périphérique constitue l'un des défis techniques du chantier.

Chaque portique est constitué de trois éléments : le poteau principal, d'une hauteur de 12,70 m, réalisé en deux levées de 7,10 m et 5,60 m, le poteau bas et une crémaillère centrale qui relie les deux éléments.

Installés dans les tribunes nord, sud et est, ils ont été réalisés en béton précontraint par post-tension : des gaines incorporées dans le béton abritent les câbles de précontrainte qui sont mis en tension avant la pose de la charpente.

La réalisation des portiques nécessitait une grande précision pour positionner les inserts servant à la fixation de la charpente. Leur construction fait appel à un béton de classe de résistance C 40/50, utilisé plus couramment en génie civil que dans un bâtiment traditionnel.

La crémaillère est préfabriquée au sol sur le chantier en deux éléments de 7 t chacun qui sont levés à la grue

puis assemblés et liaisonnés par du béton coulé en place.

Pour obtenir une forme d'arc en sous-face, le fabricant de coffrages Simpra a mis au point un outil spécifique sur mesure qui est associé aux banches métalliques du chantier, tout en permettant de travailler en toute sécurité.

### UNE ENVELOPPE EN CAMAÏEU DE BLEU

La « façade » extérieure du stade est constituée d'une membrane en polymère translucide en ETFE Téflon (éthylène tétrafluoroéthylène) de camaïeu de bleu de 34 000 m<sup>2</sup>, aux couleurs du Havre Athletic Club, qui habille l'immense charpente métallique entourant l'ouvrage. Cette dernière, constituée d'un assemblage de fléaux métalliques et de poutres treillis présentant un porte-à-faux de 30 m, prend appui sur les éléments en béton armé coulé en place et préfabriqués du parvis.

### UNE CONSTRUCTION DURABLE

Dès le lancement du projet, la Codah (Communauté de l'agglomération havraise) a exigé que le Grand Stade



4



5

→ 4 • Le Grand Stade du Havre offre 25 000 places. 5 • La façade arrière de la tribune ouest.

s'inscrive dans une démarche de Développement Durable et qu'il devienne un modèle en la matière.

L'équipement est donc conçu et géré selon les critères HQE®, même s'il n'existe pas encore de référentiel pour les stades. Il reprend néanmoins les quatorze cibles de la démarche et constitue, de ce fait, un test grandeur nature.

### UN CIMENT À FAIBLE IMPACT

Ainsi, les matériaux utilisés ont été choisis en fonction de leur facilité d'entretien et de leur empreinte environnementale minimale. Le béton a été un matériau privilégié pour cette

réalisation puisque 43 000 m<sup>3</sup> sont utilisés pour constituer les gradins, les tribunes et les locaux techniques.

À ce titre, les calculs réalisés par Elioth, responsable des études environnementales et énergétiques du projet, laissent apparaître que l'emploi de béton à base de ciment CEM V/A (S-V) 42,5N CE CP1 NF composé de clinker, de cendres volantes et de laitier de haut fourneau, provenant de l'usine Lafarge du Havre Saint-Vigor, a permis de réduire de 20 % les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à un ciment de type CEM I.

Le ciment sélectionné est un ciment multiconstituant conforme à la norme européenne NF EN 197-1 spéciale-

ment développé pour permettre de réduire l'impact CO<sub>2</sub> des bétons, notamment pour la réalisation de voiles et de planchers.

Avec un béton classique (ciment CEM I), les émissions seraient de 10 570 t de eqCO<sub>2</sub>, tandis qu'avec 50 % de béton classique et 50 % de béton basse émission (à base de ciment CEM V), elles ne sont que de 8 230 t eqCO<sub>2</sub>, soit une économie de 40 % de tonnes de CO<sub>2</sub> et une réduction de 6% sur l'ensemble de la construction. Associé à des mesures d'isolation thermique des locaux, de régulation et d'optimisation des équipements de fonctionnement, le ciment de type CEM V permet au Grand Stade

du Havre de présenter le bilan carbone le plus bas pour un stade de ce type équivalent réalisé à ce jour. ■

**Photos :** Ouverture, 2 et 3 – Patrick Boulen ; 1 – Eddy Rivière ; 4 et 5 – SCAU Architectes

Photo : Patrick Boulen



→ La silhouette douce et bleue du stade se dresse comme un nouvel emblème de la ville du Havre.



**Maître d'ouvrage :** CODAH (Communauté de l'Agglomération Havraise)

**Maître d'œuvre :** SCAU Architectes & Urbanisme (architectes mandataires) ; KSS Architects (architecte associé)

**Bureaux d'études :** Elioth (HQE®) ; Structure Île-de-France (béton)

**Conception et réalisation :** Vinci Construction France (conception) ; Sogea Nord-Ouest (réalisation)

**Coût : 80 M€ HT**



# L'inventeur universel

La très longue carrière d'Eugène Freyssinet est double. Jusqu'en 1930, il a projeté et construit en béton armé et ses ouvrages ont battu record sur record. De cette période, le pont Albert Louppe (pont de Plougastel) est le plus emblématique. En 1928, il dépose le brevet de la précontrainte. C'est le point de départ de sa deuxième carrière consacrée à « faire de l'idée de précontrainte une réalité industrielle ». Le premier ouvrage d'art significatif en béton précontraint qu'il construit en France est le pont de Luzancy. Il conçoit en 1934 des tuyaux en béton précontraint. À la fin des années 30, il invente le vérin plat. Ces quatre exemples permettent de rendre hommage en cette année 2012 (année commémorative du 50<sup>e</sup> anniversaire de sa disparition) au génie de cet inventeur universel.

Texte : Pierre Jartoux et Bernard Fargeot



1



2



3

→ 1 • Reconstruction de l'arche démolie pendant la guerre de 40. 2 • Bétonnage par plots sur le cintre (photos 1 et 2 : Limousin). 3 • Eugène Freyssinet (photothèque association Freyssinet).

# Pont de Plougastel (29)

Cet ouvrage, avec ses trois arcs successifs de 186 m de portée, fut un record du monde des ponts en arc. Pour sa réalisation, Eugène Freyssinet inventa des méthodes de construction particulièrement innovantes et ingénieuses.

## LE TRANSPORTEUR FUNICULAIRE

Il s'agissait d'un équipement vital pour le chantier compte tenu de l'importance de la brèche, du volume de béton, d'armatures et de coffrage à transporter sur l'ouvrage. Cet équipement original conçu par Eugène Freyssinet, de longueur entre bigues supports de 650 m, comporte un câble porteur (Ø 60 mm) fortement tendu (60 t) pour limiter la flèche et donc la hauteur des bigues. Un contrepoids mobile de 120 t maintient cette tension. Un câble toueur assure le déplacement de la cabine dans laquelle se trouve le grutier mais également tout le matériel de levage des charges et de déplacement de la cabine (à 3 m/s). L'alimentation électrique est

assurée par le câble porteur, avec retour par le câble toueur qui comporte une âme en cuivre. Afin de diminuer le poids mort embarqué pour disposer du maximum de charge utile, la cabine était en duralumin, matériau qui dans les années 20 était réservé à la construction aéronautique balbutiante ! Deux appareils identiques étaient installés, capables de lever 2 t chacun et susceptibles d'être couplés pour lever 4 t. La cabine parcourait chaque jour une centaine de kilomètres ! Les bigues de 55 m de hauteur sont en bois cloué et articulées en pied sur des articulations en béton. Coulé contre les pièces de bois lardées de clous, le béton parfaitement conjugué à l'extrémité des pièces en bois assure la parfaite transmission des efforts de la bigue vers l'appui au sol.

## LE CINTRE EN BOIS CLOUÉ

C'est un véritable ouvrage d'art qui a été conçu pour construire successivement les 3 arches du pont. Sa taille est impressionnante pour une structure en bois : 155 m d'ouverture envi-

ron, 2,8 m d'épaisseur, et 10 m de largeur. Les abouts du cintre sont réalisés en béton coulé contre la structure en bois, afin d'assurer le transfert des compressions du cintre (poussée de 2 500 t) et de permettre sa fixation sur les naissances de l'arc préalablement construites. Ces deux masses de béton au bas du cintre abaissent son centre de gravité et contribuent ainsi à sa stabilité pendant ses déplacements. Une autre particularité de ce cintre est son tirant en câbles d'acier qui relie les deux extrémités en béton et assure la stabilité.

## LE TRANSPORT DU CINTRE SUR BARGE ET SON DÉPLACEMENT VERTICAL PAR LA MARÉE

Le cintre est transporté par deux barges (chalands en béton construits pour l'occasion) qui permettent son déplacement à l'aide de treuils embarqués, les câbles étant amarrés sur des points fixes de la berge et les piles. L'utilisation de la marée à ses différents niveaux est une des idées

originale du projet qui a contribué à son économie. La marée haute permet de prendre en charge le cintre à partir de la berge. Pour glisser le cintre sous les naissances de l'arc, on attend que l'eau descende. À marée montante on plaque le cintre sur les naissances et on assure sa fixation permettant le coulage de l'arc. On libère alors les deux barges qui seront de nouveau mises en position pour prendre en charge le cintre et assurer le décintrement de l'arc à marée descendante. ■

### Chiffres clés

Études et exécution : société des entreprises Limousin, <b>procédés Freyssinet</b>
Dates de réalisation : <b>1926-1930</b>
Longueur totale : <b>810 m</b>
Largeur : <b>9,5 m</b>
Béton : <b>25 000 m<sup>3</sup></b>
Armatures : <b>15 000 t</b>
Coffrage : <b>2 000 m<sup>3</sup></b>



→ 4 • Pose de l'élément central d'une poutre. 5 • Dés de béton pour réglage du profil en long. 6 • Pose à la poutre (photos 4, 5 et 6 : Campenon-Bernard). 7 • État actuel du pont.

# Pont de Luzancy (77)

**La construction**, commencée en 1941 et interrompue par la guerre, ne reprit qu'en 1945. L'inauguration eut lieu en 1946. C'est un pont à béquille très surbaissée (1/18), 1,27 m à la clé, portée de 55 m et 8 m de largeur.

Dans cette période, une fois de plus, Eugène Freyssinet a dû gérer la pénurie de matériaux en développant des méthodes de construction parmi les plus fécondes.

Le pont de Luzancy est un ouvrage modeste mais probablement l'un des plus beaux et des plus élégants conçus par Eugène Freyssinet. Il a bénéficié de l'expérience acquise sur plusieurs ponts en béton précontraint depuis le dépôt du brevet en 1928. Il contient en germe toutes les méthodes et techniques qui seront utilisées et généralisées en construction de ponts par éléments préfabriqués au cours des décennies suivantes : préfabrication des voussoirs, béquilles, trottoirs avec garde-corps intégré, pose à la poutre, pose au lanceur sur blondin, précontrainte dans

les trois directions, culées actives par interposition de vérins plats, précontrainte des trottoirs par vérins plats pour en faire une section participante du tablier.

## LA PRÉFABRICATION DES VOUSSOIRS

Les voussoirs sont fabriqués dans des cellules en bois munies de vibrateurs. Dès la construction de l'arche d'essai du pont du Veurdre en 1907, Freyssinet avait essayé une préfabrication par voussoirs élémentaires mais il constata alors l'insuffisance des techniques pratiquées à l'époque par les entreprises. Il renouvela l'expérience, avec succès cette fois, au pont de Luzancy. Les voussoirs ne sont pas conjugués, l'assemblage était prévu, dans un premier temps, sur poutre de lancement avec réalisation des joints en béton maté et, finalement, après modification de la méthode de pose, par préassemblage sur banc de la partie centrale des poutres pour pose par lancement sur blondin.

## LA POSE PAR LANCEUR SUR BLONDIN

La pose des voussoirs était prévue initialement avec une poutre en bois. La rupture d'un élément défectueux a conduit Freyssinet à changer de solution ; profitant de l'interruption par la guerre, il en a inventé une autre.

Cette nouvelle méthode a été mise au point sur maquette dans les ateliers d'Asnières de l'entreprise. Il s'agit d'un lancement sur blondin, avec bigues en bois cloué. Le déplacement de la charge et sa mise en position correcte ont imposé la construction d'un tambour de treuil ovoïde, réalisé en béton.

La difficulté était de manœuvrer la charge lourde des voussoirs verticalement à partir de la barge et horizontalement pour la glisser entre les deux consoles d'extrémité déjà posées, le jeu n'étant que de l'épaisseur de 2 joints matés, soit 4 à 5 cm.

Les câbles de levage et de déplacement horizontal fixés aux extrémités de la poutre rejoignent deux treuils sur les rives avec leur tambour ovoïde si

particulier, preuve que si Freyssinet se méfiait des charmes de la fée mathématique, il savait à l'occasion l'utiliser pour résoudre un problème difficile de cinématique. Le système donna toute satisfaction, il fut reconduit quelques années plus tard pour la construction des 5 ponts sur la Marne.

L'amarrage des câbles du blondin sur une poutre en béton truffée de câbles de précontrainte (12 Ø 5) illustre les capacités inventives de Freyssinet et ses ressources inépuisables pour gérer la pénurie. ■

### Chiffres clés

Études et exécution : **Campenon-Bernard – Eugène Freyssinet**

Dates de réalisation : **1941-1946**

Longueur totale : **55 m**

Largeur : **8 m**

Béton : **176 m<sup>3</sup>**

Armatures de précontrainte : **7,4 t**



8



9



10

→ 8 • Face amont du barrage de Beni Bahdel (archive F. Guyon). 9 • Diverses formes de vérins plats. 10 • Décintrement de l'arc du pont de Gladesville (archive F. Guyon).

# Les vérins plats

**Toutes les réalisations** importantes d'Eugène Freyssinet l'ont conduit à imaginer et à réaliser des outils spécifiques bien adaptés. Parmi ceux-ci, il en est un qui est particulièrement remarquable : le vérin plat. Une des plus belles inventions d'Eugène Freyssinet par sa simplicité et son potentiel et qui a fait l'objet de nombreuses utilisations innovantes.

## CARACTÉRISTIQUES DES VÉRINS PLATS

Le vérin plat est un « sac métallique » composé de deux tôles parallèles de 2 mm d'épaisseur, dont la périphérie est façonnée par emboutissage en forme de bourrelet demi-cylindrique. Les tôles sont assemblées entre elles par soudure au niveau du bourrelet. L'ensemble est donc étanche. Des ajutages placés sur le bourrelet permettent d'introduire un liquide sous pression dans le vérin qui, s'il est placé entre deux éléments résistants, se développe par écartement des tôles. Les vérins plats peuvent être fabriqués avec des formes très diver-

ses. La course du vérin est en général de 25 mm. La pression à l'intérieur du vérin peut monter jusqu'à 15 MPa. Le vérin plat permet ainsi d'appliquer à des structures des efforts pouvant atteindre des valeurs très élevées (de l'ordre de 1 500 t pour un vérin qui ferait 1 x 1 m) associés à des déplacements de faible amplitude.

## MISE EN CHARGE DES CONTREFORTS DE BARRAGE

Une des premières applications de vérins plats remonte à 1937, pour la surélévation du barrage à contreforts de Beni Bahdel en Algérie.

Le barrage était presque terminé quand il fut décidé de le surélever. Les fondations n'étaient plus suffisantes pour recevoir les nouveaux efforts. Elles furent élargies par construction d'un massif en pied des contreforts. Pour les mettre en charge sans changer la direction de la résultante des efforts, Freyssinet a proposé de placer des vérins plats entre les massifs et les contreforts créant ainsi une poussée de 25 000 t par contrefort.

## DÉCINTREMENT DE VOÛTES

Les multiples réalisations de voûtes à l'actif de Freyssinet l'ont tout naturellement conduit à prévoir des décintrements par vérins plats. Une des applications les plus remarquables fut celle menée par Yves Guyon, un de ses plus fidèles collaborateurs, pour le décintrement des arcs en béton du pont de Gladesville en Australie de 305 m d'ouverture. Le décintrement de cet ouvrage, construit en voussoirs en béton posés sur cintre, fut assuré par une série de vérins plats placés dans les joints au tiers et aux deux tiers de l'arc.

## LA PISTE D'ESSAI D'ORLY

Dès 1946, les services techniques de l'Aéroport de Paris se sont trouvés confrontés à l'augmentation de la charge d'impact des trains d'atterrissage des nouveaux avions.

Eugène Freyssinet fut alors sollicité pour imaginer une solution qu'il testa sur une piste d'essai à Orly. Le principe retenu fut de créer une dalle en béton précontrainte trans-

versalement et longitudinalement de 16 cm d'épaisseur. De 1949 à 1953, la dalle d'essai a été soumise au trafic. Aucun désordre ne s'est manifesté et aucun entretien particulier n'a été nécessaire. Cette constatation a conduit Aéroport de Paris, au début des années 1953, à prolonger le taxiway existant par un tronçon en béton précontraint. L'expérience acquise a permis de simplifier en particulier les opérations d'introduction de la précontrainte. La précontrainte transversale a été réalisée, comme pour la dalle d'essai, avec des câbles, mais une technique plus simple a été utilisée pour la création de la précontrainte longitudinale : elle consiste dans la mise en place d'un joint transversal actif placé au raccordement de la partie existante du taxiway et de la dalle nouvelle. Ce joint a été équipé d'une batterie de vérins plats dont la mise en pression a permis de contrôler de façon très précise l'effort de précontrainte introduit et son maintien dans le temps. ■



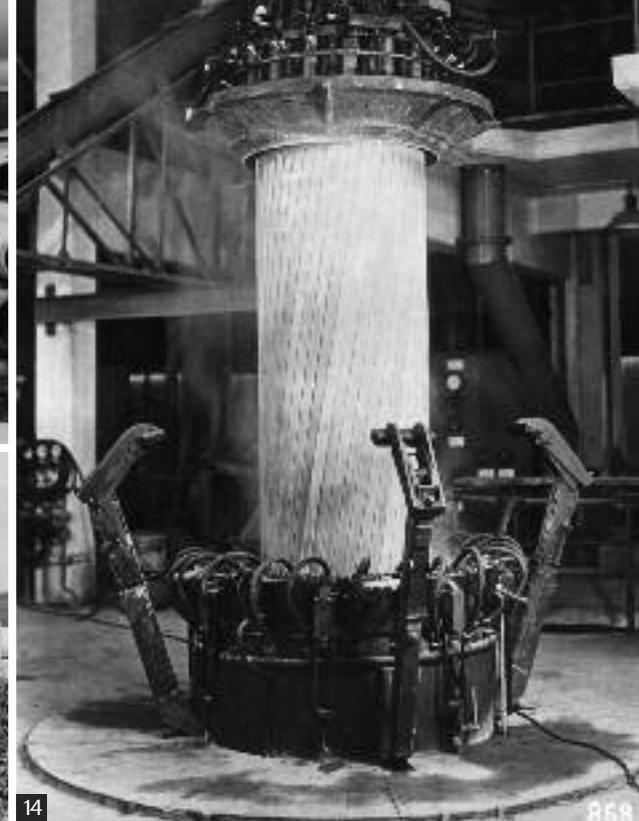
11



12



13



14

→ 11 • Parc de stockage des tuyaux. 12 • Usine des tuyaux d'Oued Fodda. 13 • Franchissement d'une vallée. 14 • Moule des tuyaux d'Oued Fodda (photothèque Campenon).

# Les tuyaux en béton précontraint

**Peu après** le dépôt de son brevet capital sur la précontrainte en octobre 1928, Eugène Freyssinet donne à sa carrière une orientation toute nouvelle. Décidé à développer ses idées originales sur la précontrainte appliquée aux ouvrages en béton, il met fin à sa collaboration avec l'entreprise Limousin pour se consacrer entièrement, avec une audace et une volonté stupéfiantes, à la conception et la réalisation d'ouvrages précontraints. Il était convaincu de la justesse de ses vues porteuses d'une avancée technique et humaine considérable. Il lui fallait le démontrer.

## DANS LA CONTINUITÉ DES POTEAUX PRÉCONTRAINS, LES TUYAUX D'OUED FODDA

Après une expérience fertile en innovations avec l'entreprise Forclum pour réaliser des poteaux électriques préfabriqués en béton précontraint, il rencontra en 1934 Edme Campenon, un entrepreneur qui comprit très vite l'intérêt de la précontrainte des bétons et d'une collaboration

étroite avec son inventeur. Coïncidence heureuse aussi, l'entreprise Campenon qui participait, alors, à l'aménagement hydraulique de la région d'Oued Fodda en Algérie avait à réaliser une conduite d'irrigation sur 50 km à base de tuyaux de 6 m de longueur et de diamètres divers de 1,00, 1,20 et 1,40 m capables de résister à une pression de 1,8 MPa.

Il s'agissait de produire industriellement des éléments en béton dont l'étanchéité sous pression devait être le point fort. L'application d'une double précontrainte est vite apparue comme la meilleure solution : une précontrainte longitudinale par fils et une précontrainte transversale par cerces hélicoïdales. La technique de fabrication des tuyaux a repris les points fondamentaux expérimentés sur les poteaux préfabriqués :

- obtenir des bétons à forte résistance initiale pour supporter très tôt les précontraintes exigées, et pour assurer d'excellentes cadences de fabrication ;
- utiliser des bétons maniables per-

mettant une bonne mise en place dans les moules ;

- associer au coulage une forte vibration puis un essorage de l'eau excédentaire à travers la peau du coffrage pour obtenir un béton très compact le plus étanche possible ;
- enfin étuver le béton.

## DES MOULES ORIGINAUX

Les tuyaux sont fabriqués dans des moules verticaux de 6 m de long, composés de deux parties qui s'emboîtent l'une dans l'autre :

- une coquille métallique résistante et rigide associée à une chemise en caoutchouc formant vessie et une feuille de caoutchouc assurant le drainage de l'eau d'essorage ;
- un mandrin creux métallique indéformable associé à une chemise en caoutchouc formant vessie permettant de comprimer le béton frais.

Les opérations de coulage d'un élément se décomposent en plusieurs étapes successives :

- mise en place des cerces de fils de précontrainte transversale en les

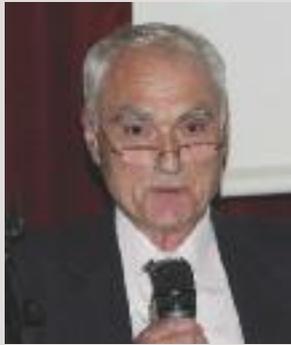
fixant aux fils de précontrainte longitudinale non encore tendus ;

- mise en tension des fils de précontrainte longitudinale ;
- introduction du mandrin métallique ;
- remplissage de la vessie en contact du mandrin intérieur ;
- mise en place du béton sous vibration intense ;
- mise sous pression de la vessie solidaire du mandrin et gonflement de cette vessie. Cette opération permet simultanément plusieurs opérations :

– la tension des fils des cerces transversales qui sont entraînés et donc tendus sous l'effet de la poussée du béton frais qui se déplace,

- l'essorage du béton frais comprimé, avec chasse de l'eau en excès drainée par la paroi en caoutchouc ;
- étuvage sous vapeur d'eau injectée dans le moule ;
- démoulage du tuyau après une heure d'étuvage.

Plus de 10 000 tuyaux en béton précontraint furent ainsi préfabriqués à une cadence d'un tuyau par heure par moule. ■



**FRANK GUYON,**  
président de l'association  
Eugène Freyssinet



**DOMINIQUE BIDOU,**  
président du CIDB  
(Centre d'Information et  
de Documentation sur le Bruit) et  
président d'honneur de l'association  
HQE®

# Freyssinet, un pionnier du Développement Durable

Propos recueillis par Patrick Guiraud

Directeur délégué Génie Civil à Cimbéton

**Eugène Freyssinet, évoquant les « effets artistiques » de ses hangars d'Orly, écrivait : « Comment une telle émotion, d'ordre uniquement moral, peut-elle résulter de la mise en œuvre de moyens mécaniques dans des fins exclusivement utilitaires ? »**

**En établissant un rapprochement saisissant entre qualité architecturale et performance technique Eugène Freyssinet n'a-t-il pas obtenu le « double dividende », l'un des cheminements reconnus vers le Développement Durable ?**

**Frank Guyon :** Les 2 hangars d'Orly, construits entre 1921 et 1923, ont chacun une longueur de 300 m, une hauteur de 60 m et une portée de 90 m. Ils sont faits d'une suite d'anneaux paraboliques conçus pour être réalisés successivement à l'aide d'un cintre unique. But recherché : économie de matière et de main-d'œuvre. En prime, une véritable œuvre d'art. Un ouvrage qui illustre le très républicain devoir que s'impo-

sait Eugène Freyssinet de construire au moindre coût pour la collectivité. Un ouvrage qui exprime une idée forte et très Développement Durable : le fonctionnel n'est pas nécessairement laid ; on peut servir la cause du Développement Durable sans faire pénitence.

Un ouvrage qui illustre la réussite du double dividende, en l'occurrence économie et effet artistique.

**Dominique Bidou :** En effet, le double dividende, win win comme disent les Anglais, est une des manières de faire du Développement Durable : les besoins sont nombreux et divers, et si on les prend en charge les uns après les autres, on accumule les contraintes et les contradictions. Aucune chance de trouver la bonne voie de progrès. Il faut donc gagner sur plusieurs plans à la fois, et notamment faire de l'architecture en recherchant la prouesse technique. Ça ne s'improvise pas. Il faut un réel talent et une connaissance approfondie des matériaux et de leurs qualités pour réaliser de tels ouvrages.

**Comme ses contemporains Le Corbusier et Auguste Perret, Eugène Freyssinet est issu d'une lignée d'artisans.**

**F. G. :** Oui, Eugène Freyssinet a toujours revendiqué l'héritage de ses ancêtres, des artisans corréziens qui « s'étaient créé une civilisation caractérisée par un souci extrême de la simplification des formes et de l'économie des moyens ».

La volonté d'économiser main-d'œuvre et matière le conduit d'ailleurs à concevoir tous ses ouvrages en fonction des moyens de réalisation qu'il se propose d'employer. Un ouvrage n'est réussi pour Eugène Freyssinet que si sa réalisation l'est.

**D. B. :** Le bel ouvrage et le Développement Durable vont de pair. Le travail bien fait, sans impasse, sans compromis. Le Développement Durable est une sorte de démarche qualité, où chacun prend à cœur les besoins des autres avec qui il collabore pour surmonter les contradictions éventuelles, et jouer au mieux de complémentarités. La rigueur

dans le mode de pensée, la discipline intellectuelle et morale, l'éthique pourrait-on dire, constituent les conditions incontournables de l'innovation. Celle-ci provient d'une analyse approfondie et sans concession des besoins et des moyens disponibles, à toutes les étapes de la conception à la réalisation d'un projet.

**Il peut paraître surprenant d'associer Eugène Freyssinet et le Développement Durable, concept qui est apparu dans les années 1980, une vingtaine d'années après sa mort.**

**D. B. :** Non, car le Développement Durable n'est pas né hier. Les mots utilisés aujourd'hui ont pris corps au cours des années 1980, et traduisent le concept tel qu'il se présente aujourd'hui. L'esprit du Développement Durable nous vient de la nuit des temps. Il prend des formes adaptées à chaque époque.

Quelle est donc l'âme profonde du Développement Durable, cet esprit qui transcende les siècles ? Une certaine vision du progrès, fondée sur

# « Utiliser au mieux les ressources de la collectivité n'est donc pas pour le constructeur un simple moyen d'acquérir gloire ou fortune, ou élégance d'esprit. C'est une impérieuse obligation. »

un principe de responsabilité sociale. Il s'agit de relever des défis pour répondre aux besoins, dans un souci d'économie de ressources et de préservation du capital de l'humanité, social, culturel et naturel. Plus de matière grise pour économiser la matière. Plus de talent et d'ingéniosité pour convaincre les décideurs et entraîner ses partenaires, compagnons sur les chantiers en l'occurrence, vers des solutions inventives et soucieuses de l'intérêt collectif.

De nombreuses personnalités, de tout temps, se sont inspirées de cette logique. Aménager pour favoriser la vie, une humanité faisant corps avec la planète, embrasser le présent et le lointain. Parmi ces personnalités figurent des ingénieurs, qui occupent une place particulière du fait de leur capacité d'intervention sur leur environnement. Eugène Freyssinet est un témoignage manifeste de la pensée « durable » appliquée avant la lettre. L'approche « durable », pour l'ingénieur, est de prendre conscience de la complexité du monde pour élargir le champ du possible. Il ne s'agit pas de dominer la planète, mais d'en connaître les forces pour les piloter au mieux, pour le profit de l'humanité et de tous les êtres vivants. La culture, l'esprit d'analyse et les méthodes de l'ingénieur lui donnent un atout essentiel pour cette mission, à condition toutefois qu'il sache rester modeste face à la richesse de la nature, et aller au-delà d'approches purement techniques, pour intégrer à son univers des paramètres humains, économiques et environnementaux.

**La passion pour la technique, un produit ou un procédé industriel ne peut-elle pas faire oublier la finalité des projets ?**

**D. B. :** Il est vrai que souvent, la puis-

sance de la technique a pu imprimer sa propre logique, et faire oublier la finalité poursuivie. La dérive est fréquente, tant la tentation est grande de pousser la technique le plus loin possible sans la mettre en relation avec des besoins à satisfaire.

Pour revenir à l'histoire moderne du Développement Durable, Jean Tutenuit, en charge de tirer les conséquences de la première conférence de Rio, en 1992, pour le ministère de l'Équipement, affirmait qu'il s'agissait d'un « nouveau mode de pensée<sup>1</sup> ». Le Développement Durable consiste à relever des défis, pour permettre à 9 milliards d'humains de vivre dignement d'ici 2050. Il a besoin pour cela de techniques performantes, mais il faut les mettre en œuvre avec un « mode de pensée » où l'exploit technique se mesure à l'aune de la qualité d'usage. Faire le plus simple possible pour répondre à un besoin. C'est l'état d'esprit dans lequel on utilise les techniques qui est déterminant. L'exploit technique s'inscrit dans une civilisation et n'a de sens que dans ce cadre.

**F. G. :** La technique n'est pas triomphante chez Eugène Freyssinet. Sa finalité est de permettre au constructeur de remplir sa mission, construire au moindre coût pour la collectivité en tirant l'optimum de la matière. Le béton résiste mal à la traction et fissure dans les zones tendues ? Eugène Freyssinet voudra lui interdire de manifester ses déficiences en le comprimant. La technique ou plutôt des techniques innovantes, parfois associées aux procédés de construction traditionnels, lui permettront

<sup>1</sup> - Jean Tutenuit, *Mémoire sur le concept de Développement Durable et sur sa possible prise en considération au Conseil Général des Ponts et Chaussées*, CGPC, janvier 1993.

d'assurer cette compression permanente qui fera du béton le premier des matériaux de construction.

Freyssinet aura d'abord recours à la compression naturelle des bétons, celle qu'il obtient gratuitement par l'effet de la pesanteur sur les arcs et les voûtes. Ensuite viendront les divers procédés de précontrainte qu'il invente pour obtenir une compression artificielle. Mais la technique sera toujours au service du parti constructif retenu : « l'idée de précontrainte n'est pas réductible à une ou plusieurs techniques », écrivait Eugène Freyssinet.

Il fera plus que maîtriser la technique, il la dominera. S'il invente une technique pour résoudre une question particulière, il en généralise aussitôt l'emploi, toujours à la recherche de l'optimum. En 1939 il invente le procédé de précontrainte des bétons par le système cône d'ancrage/vérin de mise en tension. En 1941, à Luzancy sur la Marne, il réalise une grande première en imaginant un procédé révolutionnaire de construction des ponts associé à son nouveau système de précontrainte : les éléments du tablier sont préfabriqués sur la rive, mis en place par un système à câbles et assemblés par des câbles de précontrainte. Le procédé de Luzancy, qui permettait de s'affranchir des coffrages, s'est par la suite imposé dans le monde comme l'évidence du progrès.

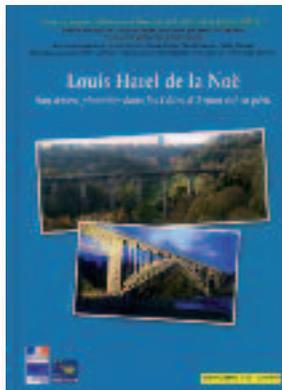
## **Qu'est-ce qui faisait marcher Freyssinet ?**

**F. G. :** La conviction de l'avenir du béton et la foi en l'idée de la précontrainte. Le sens de ses responsabilités de constructeur : « L'action et la responsabilité du constructeur rejoignent donc celles des chefs qui dirigent les activités éthiques, politiques

ou guerrières des sociétés humaines, il est avec eux un des guides responsables de leur prospérité ou de leur déclin, du bonheur ou du malheur de leurs membres. Utiliser au mieux les ressources de la collectivité n'est donc pas pour le constructeur un simple moyen d'acquérir gloire ou fortune, ou élégance d'esprit. C'est une impérieuse obligation. Ma chance, ma très grande chance a été d'être, tout enfant, pris par une vocation véhémement. J'ai aimé cet art de construire, que j'ai conçu, comme le faisaient mes aïeux artisans, comme un moyen de réduire à l'extrême la peine humaine nécessaire pour atteindre un but utile, d'un amour plus grand et plus fort que tout ce qui n'était pas lui ; d'un amour plein d'orgueil et de foi, qui m'a interdit toute tâche qui n'aurait pas été exclusivement son service. »

Eugène Freyssinet, c'est faire plus avec moins, c'est aussi vaincre le conformisme et le conservatisme pour faire mieux autrement. C'est une philosophie du progrès. C'est du Développement Durable avant l'heure !

**D. B. :** La révolution technique qu'Eugène Freyssinet a entraînée est la marque d'une indépendance d'esprit, d'un recul par rapport aux certitudes de son époque. C'est cette liberté de pensée, mise au service d'une vision ambitieuse de l'intérêt collectif, qui lui permet de bousculer les mentalités, et d'imposer de nouvelles pratiques, à la fois élégantes et performantes. La démarche de Développement Durable ne suscitera l'adhésion que si elle réussit à s'identifier au progrès. C'est tout le mérite d'Eugène Freyssinet d'avoir su conjuguer exploit technique et économie, ce qui en fait un précurseur du Développement Durable. ■



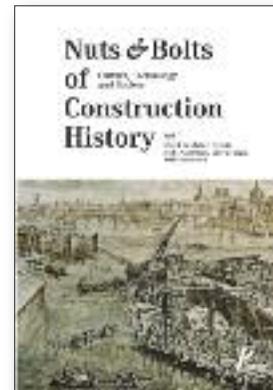
**LOUIS HAREL DE LA NOË**  
**Son œuvre pionnière**  
**dans les Côtes-d'Armor est en péril**  
**Sous la direction de François Lépine**

Ce livre regroupe les travaux du colloque organisé par l'association AMENO le 25 novembre 2011 au casino du Val-André. Il propose un panorama complet et réaliste de l'œuvre de Louis Harel de la Noë, dans l'objectif d'en souligner la valeur exceptionnelle. Il met en avant la dimension pionnière des ouvrages d'art conçus par cet ingénieur dans le département des Côtes-d'Armor et à Saint-Brieuc. Engagée dans la sauvegarde de l'œuvre de Louis Harel de la Noë, l'association AMENO poursuit, avec cette nouvelle publication, son action patrimoniale. ■  
 Cahier AMENO n° 23 – Juin 2012



**LE DÉVELOPPEMENT DURABLE,**  
**L'INTELLIGENCE DU XXI<sup>E</sup> SIÈCLE**  
**Dominique Bidou**

Ingénieur et démographe de formation, président d'honneur de l'association HQE® et président du Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, Dominique Bidou est consultant en Développement Durable. Dans une période de révolution réglementaire concernant l'habitat et le bâtiment, il propose dans ce livre une analyse d'expert éclairant les objectifs à atteindre pour les industriels, les maîtres d'œuvre, les maîtres d'ouvrage, pour les 30 années à venir. Ce traité pédagogique permet de bien comprendre l'importance des enjeux du Développement Durable. ■  
 Éditions PC



**NUTS AND BOLTS**  
**OF CONSTRUCTION HISTORY**  
**Culture, Technology and Society**  
**Sous la direction de Robert Carvais,**  
**André Guillerme, Valérie Nègre**  
**et Joël Sakarovitch**

Cet ensemble de trois volumes en anglais est édité à l'occasion du 4<sup>e</sup> Congrès international d'histoire de la construction, qui, après Madrid, Cambridge et Cottbus, s'est déroulé à Paris du 3 au 7 juillet 2012. Il présente un état inédit de la recherche internationale en histoire de la construction, dressé par 230 auteurs de toutes nationalités et de toutes disciplines : maçons, charpentiers, architectes, ingénieurs, entrepreneurs, promoteurs, experts, économistes, juristes, etc. Sur près de 2 000 pages sont ainsi retracés des siècles d'histoire bâtie. ■  
 Éditions Picard

Publications



**Les collections « Solutions béton »**  
**de Cimbéton**  
**Les armatures inox : la solution pour**  
**des ouvrages durables**

Les armatures Inox sont utilisées en réparation comme en travaux neufs, en substitution partielle ou totale des aciers au carbone dans les produits préfabriqués, comme pour la réalisation de structures coulées sur place. Une solution innovante pour des constructions durables. ■  
 Réf. SB-OA 2011-4.



**Analyse du Cycle de Vie comparative**  
**de ponts**

La démarche d'analyse de Cycle de Vie a été appliquée au cas concret d'un pont courant en béton (passage supérieur en dalle précontrainte) et à 3 solutions alternatives : ouvrage PRAD, structure mixte acier/béton et structure mixte bois/béton. Ce document synthétise la démarche suivie et les principaux résultats. ■  
 Réf. SB-OA 2011-2.



**La fumée de silice : l'addition**  
**incontournable pour des bétons durables**

L'incorporation de fumée de silice dans les bétons conduit à des améliorations remarquables des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons et de leur durabilité. Ce document fait le point sur la fabrication, les modes d'actions, les conditions d'utilisation, les évolutions normatives et les avantages de la fumée de silice. ■  
 Réf. SB-OA 2011-3.



## LE PONT DE TÉRÉNEZ

René Perez et Julien Perez

Inauguré le 16 avril 2011, le pont de Térénez qui relie, en franchissant l'Aulne, le pays de Brest à la Presqu'île de Crozon est un ouvrage d'art unique. Inséré dans un paysage exceptionnel, il est le premier pont courbe à haubans d'une portée de 285 m. Pendant 4 ans René et Julien Perez, habitants de la presqu'île de Crozon, ont pu suivre la construction du pont de Térénez. Tous les deux journalistes, ils ont mené un véritable travail d'enquête rassemblant informations et iconographies auprès de tous les acteurs de l'entreprise pour restituer la prouesse qu'a constituée la réalisation de cet ouvrage d'art.



### Collection technique de Cimbéton Recueil des publications Béton et Génie Civil – Édition 2012

Ce recueil regroupe l'ensemble des documentations techniques de Cimbéton consacrées aux ouvrages d'art et au Génie Civil. Elles précisent les spécificités de conception des structures, de formulation, de mise en œuvre des bétons et d'optimisation de la durée d'utilisation des ouvrages. Elles présentent des solutions constructives et innovantes, économiquement viables, pérennes et qui répondent aux exigences du Développement Durable et aux défis des concepteurs et des architectes. ■

Afin de compléter l'information, pour la première fois, les éditions Le Télégramme ont intégré des codes 2D qui, scannés par un smartphone ou tapés sur un clavier d'ordinateur, permettent de prolonger la lecture en visionnant des interviews et des reportages. ■

Éditions Le Télégramme

## Agenda

### LYON – EUREXPO POLLUTEC 2012 Du 27 au 30 novembre 2012

Ce 25<sup>e</sup> salon international accueille les professionnels de l'environnement. Il présente les techniques de prévention et de traitement des pollutions, de préservation de l'environnement et de mise en œuvre du Développement Durable. Cimbéton, la FIB et le CERIB présenteront l'offre de produits préfabriqués en béton pour l'assainissement sur leur stand. ■

[www.pollutec.com](http://www.pollutec.com)

### CACHAN – ESTP GC 2013 26 et 27 mars 2013

L'AFGC, en partenariat avec l'École Française du Béton, organise les journées techniques GC 2013 sur le thème : Ouvrages de Génie Civil et changement climatique : conception, adaptabilité et robustesse. ■

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

### MARNE-LA-VALLÉE 7<sup>e</sup> édition du Symposium international RILEM Du 2 au 4 septembre 2013



Les matériaux de construction innovants, tels que le béton autoplaçant, ont fortement bénéficié des échanges transversaux entre différents champs disciplinaires au cours des dernières décennies. Le 7<sup>e</sup> Symposium RILEM sur le béton autoplaçant et la 1<sup>re</sup> conférence internationale sur la rhéologie des matériaux de construction auront lieu dans le cadre de la 67<sup>e</sup> semaine RILEM qui réunira de nombreux experts internationaux des matériaux de construction. Les conférences seront l'occasion de présenter un large éventail de travaux portant sur la rhéologie, la conception et les spécificités du béton autoplaçant. ■

[www.sccparis2013.com](http://www.sccparis2013.com)

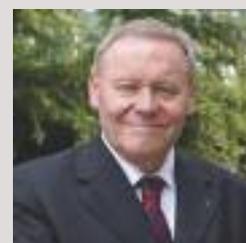


Photo : DR

## CLAUDE MARTINAND

Cimbéton a appris avec une grande tristesse le décès de monsieur Claude Martinand survenu le 10 juin 2012. Polytechnicien, ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts, il a été directeur de cabinet du ministre des Transports de 1981 à 1984. Claude Martinand a ensuite exercé les fonctions de directeur de l'Institut géographique national jusqu'en 1989, puis de directeur de la Direction des affaires économiques et internationales du ministère de l'Équipement. En 1997, il est devenu le premier président de Réseau Ferré de France. À l'issue de son mandat de cinq ans à la tête de RFF, il a été nommé vice-président du Commissariat Général au Développement Durable jusqu'en juillet 2010. Il était également vice-président du conseil d'administration de l'École Nationale des Ponts et Chaussées et présidait l'Institut pour la gestion déléguée depuis 2000. Cimbéton s'associe au souvenir de Claude Martinand et exprime toute sa sympathie à ses proches. ■

### MARSEILLE – MUCEM BFUP 2013 Du 30 septembre au 2 octobre 2013

Quatre ans après BFUP 2009, le 2<sup>e</sup> Colloque international sur les Bétons Fibres à Ultra Hautes Performances (BFUP).

Le colloque, sur le thème : Concevoir et construire en BFUP : de l'innovation aux réalisations à grande échelle, est organisé par l'AFGC en partenariat avec la Fib et la RILEM. ■

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

## Site internet



### DIOGEN

Fruit de plusieurs groupes de travail de l'AFGC, le site DIOGEN vise à mettre à disposition des acteurs du Génie Civil les valeurs des impacts environnementaux des matériaux de construction pour les ouvrages du Génie Civil. Il contient en particulier les données relatives aux ciments, aux bétons et aux granulats. ■

[www.diogen.fr](http://www.diogen.fr)

# GRANDS CHANTIERS AUTOUR DU MONDE



→ Pont rivière Saint-Etienne à La Réunion. Pile chevêtre. Photos : Thierry Roux.



→ Halles du Boulingrin,  
à Reims en France.  
Photos : Alain Hatat ;  
Photo noir et blanc : Fonds  
Deneux et Fonds Maigrot.





→ Pont de Russky Island en Russie. Photos : Photothèque Soletanche Freyssinet.



→ Viaduc de San-Marco au Mexique. Photos : Photothèque Soletanche Freyssinet.

En 4<sup>e</sup> de couverture : Pont rivière Saint-Etienne, à La Réunion. Pile. • Photo : Thierry Roux →

