

# solutions

## Les BFUP : des structures élancées qui laissent place à l'imagination

●●● LES BÉTONS FIBRÉS À ULTRA HAUTES PERFORMANCES

RÉUNISSENT TOUS LES QUALIFICATIFS REQUIS EN TERMES

MÉCANIQUES ET ESTHÉTIQUES : RÉSISTANCE, DURABILITÉ,

COMPACITÉ EXTRÊME, LIBERTÉ DES FORMES ET DES TEXTURES.

CE NOUVEAU MATÉRIAU PERMET D'INVENTER DE NOUVELLES

FORMES PLUS LÉGÈRES QUI N'ONT DE LIMITE QUE LA CRÉATIVITÉ

DES ARCHITECTES.



### → Suisse

À Lauterbrunnen, la réfection d'une passerelle au cahier des charges très contrôlé **p. 21**



### → Séoul, Corée

Une passerelle remarquable relie la capitale à une île aménagée en jardin **p. 22**



### → Calgary, Canada

Des abris en forme de coquilles dans une gare futuriste **p. 23**



### → Sakata-Mirai, Japon

Une passerelle piétonne d'une grande finesse de 50 m de long **p. 24**

## → Des qualités esthétiques indéniables pour des bétons ultra performants

**D**EPUIS LE DÉBUT DES ANNÉES QUATRE-VINGT-DIX, LES BFUP APPARAISSENT PROGRESSIVEMENT SUR LES CHANTIERS LES PLUS AUDACIEUX. PARTICULIÈREMENT RÉSISTANTS, PLUS RENTABLES ÉCONOMIQUEMENT, PLUS FACILES D'EMPLOI POUR UN GAIN DE TEMPS ÉVIDENT, LEUR UTILISATION DEVRAIT RAPIDEMENT SE GÉNÉRALISER.

**L**es BFUP. Prononcez "B-Fup". Cet acronyme désigne les Bétons Fibrés à Ultra Hautes Performances. Ultra hautes performances ? Jugez plutôt : leur résistance caractéristique à la compression est supérieure à 150 MPa ; elle peut atteindre 250 MPa ! À ce niveau de performances, les BFUP dépassent largement leurs prédécesseurs – les Bétons à Hautes Performances (BHP) –, dont la résistance en compression était en général comprise entre 50 et 80 MPa. En écho à ces résistances hors du commun, les structures réalisées en BFUP s'allègent. Pour l'architecte, c'est la possibilité de créer, d'inventer de nouvelles formes plus fines et élan-

cées. Rudy Ricciotti, l'un des premiers architectes à avoir utilisé ces bétons de nouvelle génération, est séduit par la possibilité qui s'offre à lui de "réduire la matière". D'autant qu'en ce qui concerne la qualité des parements, les BFUP présentent d'excellents résultats, en particulier grâce à la finesse de leur granulométrie. Enfin, et ce n'est pas le moindre de leurs avantages, les BFUP ne redoutent pas l'épreuve du temps, même dans un environnement agressif. Leur secret, nous y reviendrons, est un coefficient de perméabilité extrêmement faible, dix fois moindre que pour un béton classique.

### ● Compacité extrême du matériau

Les recherches ont démarré au début des années quatre-vingt-dix et les premiers chantiers ont été réalisés en 1997 et 1998 en France, dans les centrales

nucléaires de Cattenom et Civaux, et au Québec, à Sherbrooke, avec la construction d'une passerelle piétonne. En quelques années, les performances des bétons se sont considérablement améliorées, tout d'abord intrinsèquement (résistance, durabilité), mais aussi parce que leur étude à des échelles toujours plus réduites a permis de mieux appréhender leur comportement. Surtout, comme le fait remarquer l'expert international anglais Adam Neville, les recherches ne tendent plus seulement à atteindre un nombre record de mégapascals (MPa). Certes, cette recherche d'une résistance en compression toujours plus grande a conduit à la création de matériaux exceptionnellement résistants. Vu au microscope, un BFUP présente une matrice granulaire très fine associée à des éléments encore plus fins, les ultra fines, fumées de silice par exemple. Résultat : le matériau est d'une compacité extrême et les

**>>> 1 La passerelle de Sherbrooke (Canada) est construite avec des éléments préfabriqués en BFUP. La poutre inférieure présente une section de 18 x 40 cm. Le hourdis supérieur est une dalle nervurée dont l'épaisseur en partie courante est de 30 mm. 2 Gare ferroviaire souterraine de Monaco. Sur les piédroits de la voûte des quais, la compacité des panneaux de BFUP autorise une densité importante de perforations : de quoi absorber les surplus acoustiques.**



## PROJET

## Le Mucem de Rudy Ricciotti

Lauréat du concours pour la construction du futur Musée national des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée dans le vieux port de Marseille, l'architecte Rudy Ricciotti, avec RCT Architectes, a conçu un projet qui tire pleinement parti des qualités des BFUP.

La structure d'abord, qu'il qualifie "d'ossature de forme organique", est composée, entre autres, de poteaux verticaux de section variable, de planchers élancés, sans oublier une "passerelle" de 50 m de portée, criblée de perforations.

L'habillage architectural est tout aussi audacieux : constitué d'éléments de 5 m x 2,50 m pour seulement 3 cm d'épaisseur, il s'agit d'une mantille ajourée "tel un morceau de corail" développée sur trois des faces du bâtiment. La découpe, volontairement irrégulière, ne sera pas le fruit du hasard puisqu'elle participe de la conception bioclimatique du projet voulue par l'architecte. Reste encore à déterminer la couleur et le taux de perforation de la mantille.

*"L'utilisation de béton fibré à ultra hautes performances permet de réduire la matière, autorise la 'dématérialisation', explique Rudy Ricciotti. Ce qui a permis de répondre à la nécessaire sensibilité qu'appelle le site. Un site violent, déroutant, minéral et monoculturel qui suscite l'effacement de la structure du musée face aux pierres massives du fort des Jacobins." Avec, en parallèle, l'exploration d'un champ expérimental de la matière. "Il y a la sémantique du béton, celle de l'acier. Peut-être faut-il en inventer une nouvelle, spécifique aux BFUP, plus proche de la fonderie, pour des matériaux qui permettent une écriture technologique et architecturale nouvelle."*



pores réduits à leur strict minimum. Si le dosage en ciment est élevé (plus de 750 kg/m<sup>3</sup>), le rapport E/C (eau/ciment) est fortement réduit. Il atteint 0,15 (contre 0,45 pour un béton classique) grâce aussi à l'utilisation de superplastifiants. Reste alors à introduire la ductilité nécessaire aux matériaux de structure. Et c'est le rôle que jouent les fibres, notamment utilisées dans les BFUP, qui sont longues de 12 à 20 mm et ont un diamètre de 0,1 à 0,3 mm. En quantité suffisante, à savoir 160 à 240 kg/m<sup>3</sup> de béton, elles ne se contentent pas de rendre au matériau un comportement ductile ; elles augmentent significativement sa résistance à la traction. Avec des valeurs comprises entre 8 et 10 MPa, il devient possible de s'affranchir d'armatures passives classiques, et donc des contraintes de forme et de mise en œuvre inhérentes au ferrailage.

### ● Durabilité exceptionnelle

Les BFUP possèdent des caractéristiques de durabilité remarquables. La raison est simple : ils présentent une porosité capillaire extrêmement faible grâce à leur microstructure très compacte. Un seul chiffre : le coefficient de perméabilité à l'eau d'un BFUP est de 1,5 %, soit dix fois moins qu'un béton classique. Et les résultats sont tout aussi éloquentes, qu'il s'agisse de la perméabilité à l'oxygène ou de la diffusion des ions chlorures. Si, pendant longtemps, aucune méthode normalisée ne permettait de quantifier la durabilité du béton, ce n'est plus le cas aujourd'hui, grâce, en particulier, aux travaux réalisés dans le cadre des "recommandations provisoires" pour l'emploi des BFUP élaborées sous la maîtrise de l'AFGC et du Setra (voir encadré p. 20). Les premiers retours d'expériences confirment les orientations prises dans ces recommandations. En particulier, les poutres en BFUP, qui ont remplacé la structure métal-

>>> **3** **Projet du futur musée national des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée à Marseille conçu par l'architecte Rudy Ricciotti, avec RCT Architectes. L'utilisation de BFUP permettra d'habiller d'une mantille ajourée trois des faces du bâtiment.**

lique corrodée des aérofrigoriférants des centrales nucléaires de Cattenom et de Civaux, s'accrochent très bien de cet environnement extrêmement agressif. Mieux. En cas de faible fissuration, des expériences montrent que les BFUP sont capables de "s'autocicatriser" du fait de la présence dans le matériau d'un "réservoir" de particules de ciment non hydraté. En cas de pénétration d'eau, celles-ci s'hydratent, entraînant l'autocicatrisation des fissures.

### ● Un matériau esthétique pour les plus imaginatifs

Mais au-delà de ces qualités d'ordre mécanique (résistance, durabilité...), les BFUP présentent des qualités esthétiques indéniables. L'utilisation de fibres polymères permet la réalisation d'éléments architectoniques, avec une qualité de parement exceptionnelle. Ajoutez à cela une quasi-totale liberté de forme puisqu'il n'y a pas de contraintes de ferrailage. Il est possible de réaliser des éléments très minces et de les teinter dans la masse. Les BFUP peuvent donc être considérés comme un nouveau matériau. Les applications architectoniques en façade sont quasi infinies. Là encore, cela est possible car la résistance mécanique des BFUP autorise des calepinages intégrant des panneaux d'habillage légers et de grandes dimensions. Des panneaux dont

## TECHNIQUE

## Des recommandations pour l'emploi des BFUP

En première approche, ce petit guide bleu ne paye pas de mine. Et son intitulé austère – BFUP, recommandations provisoires – ne reflète pas la richesse des informations qu'il contient. Car le génie civil français est en pointe dans le domaine des BFUP et ce recueil est un condensé des réflexions des meilleurs spécialistes hexagonaux réunis au sein d'un groupe de travail BFUP.

Ce guide s'appuie sur les recommandations concernant les bétons de fibres métalliques publiées par l'Afrem (Association française de recherche et d'essais sur les matériaux de construction) en 1995 et sur le cahier des charges établi par EDF pour les poutres en BFUP utilisées pour les centrales de Cattenom et de Civaux. Ces "recommandations provisoires" couvrent trois volets : la caractérisation du matériau BFUP (lois de comportement, contrôle qualité, modes opératoires de mise en œuvre...), la conception et le calcul de structures en BFUP et, enfin, la durabilité. La durabilité dont il est question ici concerne le matériau et non l'ouvrage.

Car la durabilité d'un ouvrage est établie au cas par cas, en fonction de sa destination, de la classe d'exposition à laquelle il sera soumis pendant sa durée de service et des conditions d'exploitation de l'ouvrage. Le groupe BFUP, animé par Jacques Resplendino – chef de la DOA (Division ouvrages d'art) du CETE (Centre d'Études Techniques de l'Équipement) de Lyon –, a rassemblé des experts de l'AFGC (Association Française de Génie Civil) et du SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes).

Cette collaboration marque la volonté des services techniques du ministère de l'Équipement de participer activement aux réflexions préreglementaires tout en favorisant la recherche et l'innovation dans le domaine du génie civil. D'ailleurs, des expérimentations ont été menées sur l'ouvrage réalisé dans le cadre de la déviation de Bourg-lès-Valence (26) et le groupe a pu valider ses travaux.



>>> **5** L'avent de la barrière de péage du viaduc de Millau a été dessiné par l'architecte Michel Herbert. Lorsque tous les éléments sont assemblés, la structure présente une section entièrement gauche. Elle est en forme d'aile de parapente géante. **6** À l'occasion de la rénovation des structures internes des aéroréfrigérants de la centrale nucléaire de Cattenom, 270 poutres et 2 376 poutrelles préfabriquées en BFUP ont été mises en œuvre.



on peut dire qu'ils bénéficieront d'un moulage de haute précision. En effet, la consistance des BFUP est telle qu'elle permet de reproduire fidèlement les plus petits détails : finesse des arêtes, précision des courbes et des arrondis, impression des formes, mise en relief... De plus, rien n'empêche de recourir à des techniques de traitement de surface plus traditionnelles telles que le sablage. Ajoutons à cela un bon comportement anti-graffiti du fait de l'absence de porosité capillaire et l'on comprend que les BFUP s'adaptent à toutes les situations. Ainsi qu'à toutes les imaginations.

### ● Une prédilection pour la préfabrication

Malgré l'utilisation récente des BFUP, les projets les plus audacieux sont en cours de réalisation. À commencer par le Mucem de Marseille (musée national des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée), conçu par l'architecte Rudy Ricciotti, qui constituera un élément phare de la future Cité de la Méditerranée. Fort de son expérience sur la passerelle de la paix à Séoul, l'architecte fait appel aux BFUP en structure, en particulier pour des poteaux verticaux de section variable et une "passerelle" ; et en tant qu'élément architectural pour une audacieuse mantille de 3 cm d'épaisseur à la découpe irrégulière qui viendra réaliser la peau de l'ouvrage. Autre projet innovant : la barrière de péage du viaduc de Millau, plus précisément son avent dessiné par l'architecte Michel Herbert. Cet ouvrage est composé de 53 coques alvéolaires préfabriquées de 28 m de long, 1,80 m de large et de seulement 20 à 85 cm d'épais-

seur ! Lorsque tous les éléments sont assemblés, la structure présente une section entièrement gauche, à la fois courbe dans le sens transversal et torsadée longitudinalement. Elle est en forme d'aile de parapente géante telle que l'a imaginée l'architecte.

Les Bétons Fibrés à Ultra Hautes Performances s'élaborent à partir d'un "premix", mélange granulaire-ciment-ultra fines, auquel on adjoint la stricte quantité d'eau nécessaire. Le tout en respectant des temps et des conditions de malaxage bien précis. Seul point à surveiller : celui du retrait, en particulier celui dit "endogène". Généré par l'hydratation du ciment, ce phénomène se produit d'autant plus facilement quand le rapport E/C est faible, ce qui est le cas des BFUP. L'expérience a montré qu'un traitement thermique compense ce retrait. C'est pourquoi les BFUP ont une prédilection pour la préfabrication. Bien entendu, un BFUP peut être coulé en place sur chantier. Ainsi, il a été utilisé pour réaliser des colonnes composant la structure des trois nouveaux bâtiments du Musée national de la Reine Sophie à Madrid, conçu par Jean Nouvel et Julio Medem. Il remplit des colonnes métalliques creuses de 16 m de haut et de 32 cm de diamètre qui supportent les planchers des bâtiments. Preuve que l'utilisation des BFUP n'a comme limite que l'imagination des architectes. Les qualités esthétiques, les performances exceptionnelles des BFUP et leur durabilité offrent la possibilité de nouveaux domaines d'application et de nouvelles structures pour la construction d'ouvrages de Génie Civil. ■

TEXTE : STAN GETZEN

PHOTOS : 1 ET 2, DR – 3, R. RICCIOTTI – 5, EIFFAGE TP – 6, DR



PASSERELLE DE LAUTERBRUNNEN – SUISSE

## → Une réfection très contrôlée

De mémoire d'habitant de la petite commune suisse de Lauterbrunnen, l'ancienne passerelle a toujours été là. Sa structure se fond dans le paysage alpin pur et naturel de l'Oberland Bernois. Plébiscité par les amateurs d'air pur, le climat dans la région de Lauterbrunnen n'en est pas moins rude.

Construite en 1930, elle n'en est pas à sa première opération de réfection. Le bureau d'études Huggler Ingénieurs SA a élaboré un cahier des charges draconien dont les quatre points principaux sont : réaliser un revêtement présentant une épaisseur réduite et un gain de poids, de façon à préserver la structure existante et à permettre le recouvrement du béton par une couche d'étanchéité ; qu'il bénéficie d'une haute résistance mécanique ; et que les éléments préfabriqués soient suffisamment courts et légers pour permettre une mise en



œuvre aisée. La réponse à ces contraintes a consisté à réaliser des éléments en BFUP de 1,76 m de largeur, 76 cm de longueur pour seulement 4 cm d'épaisseur. Neuf mètres cubes de BFUP contenant des fibres métalliques et des fibres organiques ont été nécessaires à la réalisation de ces dalles. Légers, ces éléments n'ont pas nécessité de moyens de levage particuliers.

PHOTOS: DR

Maître d'ouvrage: commune de Lauterbrunnen

Bureau d'études: Huggler Ingénieurs SA (Interlaken)

PONT ROUTIER – BOURG-LÈS-VALENCE (26)

## → Des tabliers en BFUP réalisés en trois jours

La réalisation de la déviation de Bourg-lès-Valence, dont l'ouverture a eu lieu en novembre 2002, a permis aux chercheurs d'approfondir leurs connaissances sur les BFUP. En effet, la réalisation de deux passages supérieurs dans le cadre de la charte de l'innovation ouvrage d'art du SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) a permis de valider en grandeur réelle les procédures de caractérisation des BFUP et les principes de calcul qui figurent dans le guide des recommandations provisoires (voir page ci-contre). Il s'agit de deux passages supérieurs de 45 m de longueur attribués dans le cadre d'un appel d'offres sur performances. Les profils en travers de ces ouvrages se composent de cinq poutres de 2,50 m de large rappelant la forme de la lettre



grecque H. Celles-ci présentent une épaisseur d'âme de 12 cm, une épaisseur de dalle de 15 cm pour une hauteur totale de 90 cm. La liaison entre les cinq éléments est réalisée en BFUP coulé en place, de manière à assurer la continuité mécanique transversale sans recourir à de la précontrainte.

En outre, aucune dalle n'est nécessaire entre les éléments préfabriqués et la couche de roulement.

Résultat : ces "tabliers" en BFUP ont été posés en trois jours ! Intéressant donc dans le cas d'un franchissement d'une ligne ferroviaire ou d'une autoroute sous circulation.

PHOTO: DR

Maître d'ouvrage: DDE de la Drôme

Maîtres d'œuvre: DDE de la Drôme, Setra, Cete

Entreprise: Eiffage TP – Quillery



PASSERELLE DE LA PAIX – SÉOUL (CORÉE)

## → Un arc effilé au-dessus d'un bras de rivière

Première grande référence en matière de Béton Fibré à Ultra Hautes Performances et véritable vitrine technologique, la passerelle de Seonyu à Séoul, baptisée passerelle de la Paix, permet aux piétons de traverser un bras de la rivière Han pour se rendre sur une île aménagée en jardin. Un projet qui a vu le jour dans le cadre d'une mission de coopération entre la Corée du Sud et la France.

L'ouvrage est remarquable par son arche précontrainte en BFUP de 120 m de portée à laquelle s'accrochent de part et d'autre deux passerelles d'accès. Elles mènent à la partie supérieure de l'arche qui a été déviée horizontalement de six degrés pour permettre aux usagers de la découvrir. La coupe transversale de l'arche ressemble à la lettre

grecque H et le BFUP a permis de limiter la matière à son strict minimum pour plus de finesse. Pour preuve, le tablier comporte une dalle de 4,30 m de large et seulement 3 cm d'épaisseur, raidi tous les 1,225 m par des nervures transversales. Le hourdis s'appuie sur deux âmes de 1,30 m de hauteur dont les angles ont été arrondis en partie inférieure.

La passerelle de la Paix est constituée de six éléments, six voussoirs préfabriqués de 20 m de longueur dont la mise en œuvre s'effectue à l'aide de tours d'étalement. Sur chaque rive, on assemble trois éléments – une demi-arche en somme – que l'on met en précontrainte. Une fois les deux demi-arches en place, un clavage de 52 cm de longueur assure la continuité de l'ouvrage. L'arche est précontrainte longitudinalement par un câble 12T15 en partie haute de chaque âme et deux câbles 9T15 en partie basse. Malgré son élancement, elle ne comporte aucune armature passive. Ni en partie courante, ni même dans les zones

dites "de frette", zones où les câbles de précontrainte viennent s'ancrer.

Les essais ont montré que la résistance en compression atteignait 203 MPa pour une résistance en flexion supérieure à 44 MPa ! Les 22,5 m<sup>3</sup> de BFUP nécessaires à chaque voussoir sont coulés en une fois dans un moule muni de vibreurs où sont disposées des pièces de polystyrène pour obtenir les formes attendues. Le BFUP permet de répliquer fidèlement la micro, voire la nano structure du moule, d'où un état de surface de grande qualité. Le béton subit un traitement thermique. L'intérêt de ce traitement est triple : d'abord, il augmente les caractéristiques mécaniques du béton, ensuite, il densifie sa microstructure pour une meilleure durabilité et enfin, il limite le retrait (particulièrement le retrait dit "endogène"), voire l'annule.

PHOTOS: Lafarge/Philippe Ruault

Maitre d'ouvrage: ville de Séoul

Architecte: Rudy Ricciotti



GARE FUTURISTE – CALGARY (CANADA)

## → À l'abri sous les coques

Les habitants de la banlieue sud de Calgary, au Canada, peuvent désormais s'abriter sous l'une des vingt-quatre coques de béton blanc de la gare de Shawnessy, une des deux nouvelles gares prévues dans le cadre de l'extension de la ligne ferroviaire en direction de la banlieue sud de la ville. Ses concepteurs – le cabinet CPV Group Architects and Engineers de Calgary – ont joué la carte de la créativité architecturale pour ces abris à passagers érigés sur les quais en forme de coquilles et dessinés par l'architecte Enzo Vicenzino.

Chaque coque ainsi que les montants, les colonnes et les poutres des abris, ont été préfabriqués en Béton Fibré à Ultra Hautes Performances. Même les gouttières qui courent au bas des arches sont faites de ce

matériau et conçues pour supporter le poids d'une personne. Car outre la grande liberté artistique octroyée par ce matériau, les concepteurs ont optimisé le projet pour tirer pleinement parti de la grande résistance structurelle. La mise au point des coques était sans conteste le point le plus délicat de la conception de la gare. La double courbure de chacune d'elles a nécessité une fine analyse aux éléments finis, la géométrie définitive ayant été obtenue en jouant sur les rayons de courbure, les épaisseurs... Pour vérifier les résultats obtenus, des tests minutieux ont été menés à l'institut de technologie du Massachusetts, aux États-Unis, avec des outils de calcul habituellement réservés à l'aéronautique. Ensuite, un prototype de coque grandeur réelle a été soumis à divers tests au centre des technologies innovantes de Calgary afin de comparer son comportement aux prévisions des modèles numériques. Car de par leur situa-

tion géographique, les coques doivent résister à une charge élevée de neige ainsi qu'aux efforts de soulèvement du vent. Résultat : des éléments de 5,1 x 6 m, extrêmement fins avec seulement 20 mm d'épaisseur. La très faible porosité du matériau, qui le rend "virtuellement imperméable", a séduit l'équipe de conception, soucieuse de l'aspect maintenance du projet. Par exemple, les coques de Shawnessy, très faciles à nettoyer, nécessitent peu d'entretien et offrent aussi une remarquable longévité. La nécessité d'un matériau n'accrochant pas les salissures se justifie d'autant plus que, de nuit, les coquilles participent à l'éclairage indirect de la gare en servant de réflecteurs à la lumière émise à partir des quais.

PHOTOS : Lafarge, DR

Maître d'ouvrage : ville de Calgary

Architecte : cabinet CPV Group Architects and Engineers Ltd.

HABILLAGE DE PONT – VILLEPINTE (93)

## → Des bandeaux décoratifs de faible épaisseur

Sur l'autoroute A170, le pont répondant au nom de Passage Supérieur 7 présente une particularité esthétique intéressante. Ses piles, culées et murs en retour sont habillés d'éléments en Béton Fibré à Ultra Hautes Performances teinté dans la masse. Pourquoi ce choix plutôt qu'une matière plastique, une plaque de métal ou un béton armé comme cela se pratique couramment ?

Cette dernière solution n'était pas envisageable car les engravures prévues au coulage des piles et des culées étaient de trop faible profondeur, seulement 20 mm. Il fallait donc mettre en œuvre des éléments résistants de très faible épaisseur. Le choix de bandeaux décoratifs en BFUP s'imposait donc. Tous les éléments préfabriqués sont prévus pour être facilement transportables. Les éléments droits sont coulés à plat, les éléments courbes coulés à champ, puis fixés dans les engravures. Le maître d'ouvrage – la DDE de Seine-Saint-Denis – a été séduit par la bonne résis-



tance aux chocs des éléments ainsi que par le bon comportement de ce type de béton en cas d'applications de graffiti. Non pas qu'il soit antigraffiti, mais parce qu'il présente de bonnes caractéristiques de "nettoyabilité" du fait de sa très faible porosité.

PHOTOS : Eiffage TP

Maître d'ouvrage : DDE 93

Architecte : Alain Spielmann



PASSERELLE PIÉTONNE SAKATA-MIRAI – JAPON

## → Design innovant et qualités techniques

La passerelle piétonne Sakata-Mirai, située dans la région de Yamagata, remplace un ancien pont en béton qui franchissait depuis quarante ans la rivière Niita dans la ville de Sakata. Cet ouvrage franchit en une seule travée la rivière.

Construite en octobre 2002, la passerelle piétonne de Sakata-Mirai peut être considérée comme une immense poutre caisson à inertie variable de 50 m de long. Elle est constituée d'éléments préfabriqués perforés de 2,40 m de large qui ont été assemblés par une précontrainte extérieure. Les perforations ne sont pas le fruit du hasard. En effet, elles permettent de réduire sensiblement la prise au vent de la structure. De plus, le BFUP utilisé a permis des épaisseurs beaucoup plus fines. Par exemple, le hourdis supérieur des caissons ne mesure que 5 cm d'épaisseur. L'alliance du béton fibré hautes performances et de la précontrainte extérieure confèrent à la structure une légèreté certaine : un ouvrage similaire en béton ordinaire aurait pesé trois fois plus lourd. À noter que



le maître d'ouvrage a particulièrement été séduit par les qualités de durabilité du BFUP utilisé.

La communauté scientifique japonaise ne s'y est d'ailleurs pas trompée. En reconnaissance de son design innovant et de ses qualités techniques, la passerelle piétonne Sakata-Mirai a été récompensée par

plusieurs prix dont celui de l'institut japonais du béton et de l'association japonaise de l'ingénierie du béton précontraint.

PHOTO: DR

Maître d'ouvrage: *Maeta Construction Industry*

Conception: *Taisei*



POUTRE-AQUEDUC – ANNET-SUR-MARNE (77)

## → Chantier rapide et sobre

Sous l'impulsion du maître d'ouvrage RFF (Réseau Ferré de France), le chantier de la ligne ferroviaire à grande vitesse LGV Est a donné lieu à plusieurs expérimentations. Ainsi, sur le lot 18 à hauteur d'Annet-sur-



Marne devait être réalisée une poutre "pont-canal" en béton armé de 27 m de longueur destinée à faire traverser le canal aux eaux de ruissellement en provenance de la plate-forme ferroviaire. La solution de couler en place un béton armé – solution tout à fait classique – aurait nécessité des moyens de coffrage lourds, placés à l'aplomb du canal de l'Ourcq. Car le poids de l'ouvrage aurait approché les 150 tonnes. L'option retenue par RFF a consisté à préfabriquer

l'ouvrage en Béton Fibré à Ultra Hautes Performances en trois éléments de 8,85 m coulés dans un moule en bois. Premier avantage : le poids de l'ouvrage est divisé par trois puisqu'il n'atteint plus que 42 tonnes, d'où une plus grande souplesse de pose, sans aucun étaieement. Les éléments sont assemblés sur le site à l'aide de câbles de précontrainte. L'ensemble est alors mis en place en une seule opération à l'aide d'une grue. Compte tenu des qualités intrinsèques des BFUP, en particulier leur très faible porosité, cette solution a permis de s'affranchir d'une étanchéité.

L'option BFUP a permis de réduire significativement les délais du chantier. Conformément au souhait de l'architecte, le BFUP devait offrir une couleur de béton brut, proche de celle des corniches de l'ouvrage contigu. Pour assurer l'homogénéité de l'ensemble, la poutre pont-aqueduc a bénéficié du même principe de modénature que les corniches courantes, en l'occurrence trois inclusions filantes de couleur noire.

PHOTOS: DR

Maître d'ouvrage: *Réseau Ferré de France (RFF)*

Architecte: *Alain Spielmann*