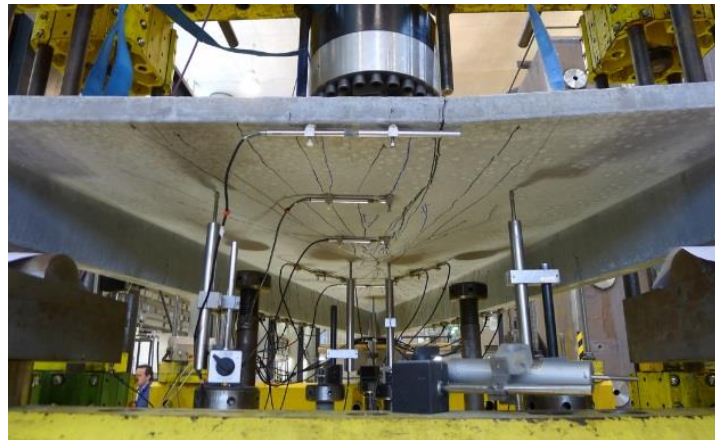
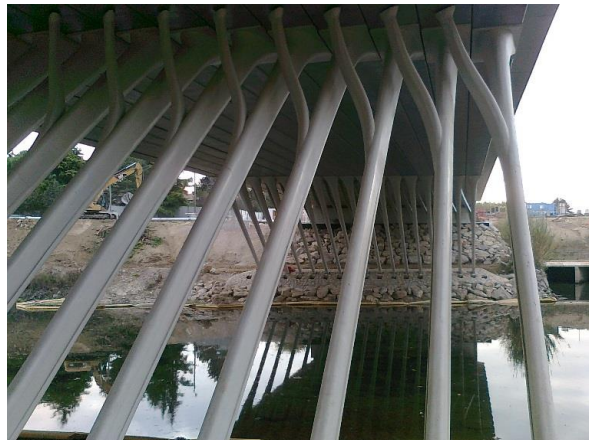




# Le matériau BFUP : constitution, caractéristiques et applications



François TOUTLEMONDE  
IFSTAR Matériaux et Structures  
Président du chapitre ACI de Paris

Journée technique AFGC Grand Ouest  
Remise à niveau des ponts de Thouaré  
29 juin 2017

# SOMMAIRE



## Fin du siècle dernier : la genèse

- Des idées, des personnes, des étapes
- Repères fondateurs
- Continuité et rupture

## 2002-2012 Le temps de l'exploration

- Des applications tous azimuths
- Capitalisation de connaissance
- Diversification

## 2013-2016 Démonstration du potentiel

- Réalisations emblématiques
- De l'innovation à la normalisation

## Maintenant ... et demain ?





# GENESE

## // Les BFUP résultent de la combinaison de 3 idées directrices :

- 1 Amélioration de la compacité, donc de la résistance, des matériaux cimentaires par **réduction drastique du rapport eau / liant**, rendue possible et de plus en plus efficace par les avancées de R&D dans la chimie des **superplastifiants** et le développement des additions minérales;

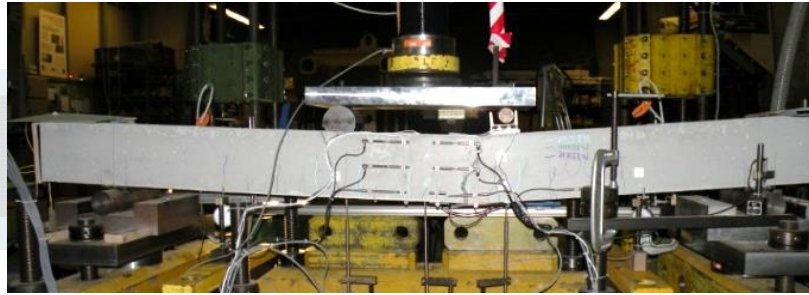
Elimination des macro-défauts : MDF, CRC (Bache)

Prolongement de la course aux résistances des BHP et BTHP (années 1980)

Modification de l'équilibre entre CSH de haute et basse densité (Ulm et al.)



# GENESE



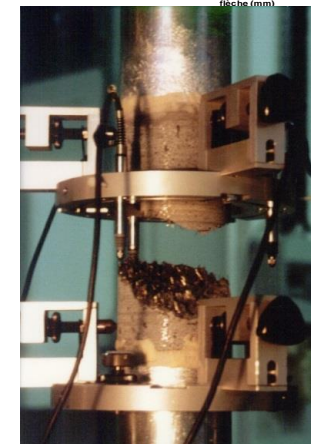
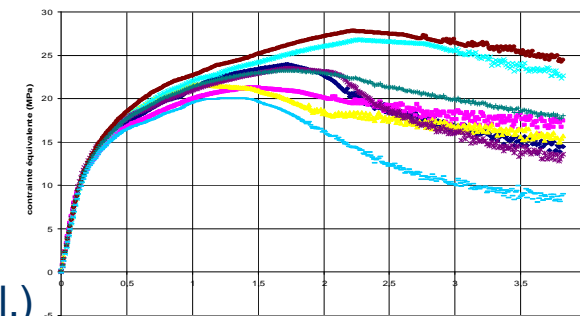
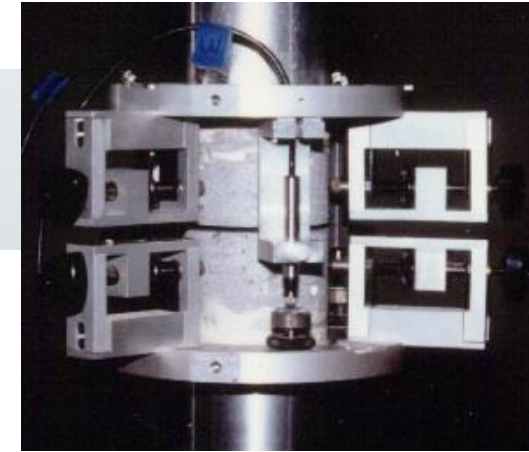
// Les BFUP résultent de la combinaison de 3 idées directrices :

2 Utilisation de **fibres** pour conférer au béton une **capacité de reprise d'efforts de traction post-fissuration** et une pseudo-ductilité, rendue possible par plus de 20 ans de recherches conceptuelles et développements exploratoires dans le domaine des bétons de fibres conventionnels, mais réellement plus **efficace** par la haute qualité de la matrice et la possibilité d'incorporer un taux de fibres important ;

Facteur d'aspect des fibres optimisé pour le contrôle de la fissuration (Swamy et al.)

Adaptation de la formulation à un fort pourcentage de fibres

Développement des essais de traction pour la caractérisation des propriétés du matériau (Rossi et al.)





# GENESE

// Les BFUP résultent de la combinaison de 3 idées directrices :

3 Réduction des imperfections naturelles dues aux **granulats** en limitant leur taille et en sélectionnant **des matériaux de très haute qualité selon une granulométrie optimisée**, démarche permise par le développement des modèles d'empilement granulaire développés dans les années 1980

Utilisation d'additions ultrafines disponibles depuis les années 1980

Expérience opérationnelle des modèles d'empilement pour la formulation des BHP et BTHP (de Larrard)



# GENESE



// Les BFUP sont redevables à quelques pionniers pour la combinaison de ces idées:

Pierre Richard † - Marcel Cheyrezy - Gérard Birelli - Thierry Thibaux - Gilles Chanvillard †

Ils ont porté leur conviction que cette combinaison ouvrait de **nouveaux horizons** au domaine du béton  
Ils ont défendu cette combinaison comme une réponse à des demandes mal satisfaites :

- **Réduction de la fragilité locale** gouvernée par les défauts
- **Promotion d'une maîtrise industrielle** des procédés de construction et des produits
- Optimisation de l'usage du ciment dans un **matériau de haute valeur ajoutée**
- Début d'une tendance « **less is beautiful** » pour l'architecture en béton

Ils ont convaincu la génération montante d'alors (M. Behloul, J. Resplendino, A.Simon...) qui a appris le béton :

- avec **des yeux ouverts sur cette « nouvelle frontière »**
- avec une prise de recul sur la science des matériaux cimentaires rendu possible par l'extension aux BFUP
- avec des idées renouvelées en conception des structures grâce aux réussites permises par les BFUP

# GENESE

## // Grandes étapes, du laboratoire aux « démonstrateurs »

1990: augmentation de la résistance maxi. autorisée dans le BAEL de 40 à 60 MPa

**1995:** Richard & Cheyrezy présentent à la Convention ACI le “**BPR 200**”  
aboutissement de plus de 4 ans de développement industriel et qualification  
Travaux fondateurs de R&D sur les propriétés constructives des BFUP (Behloul,  
Loukili, Sercombe...)

1997 premières applications

“ passerelle de **Sherbrooke** (Canada)

“ poutrelles précontraintes pour la rénovation du support des échangeurs dans les  
aéroréfrigérants de la centrale de **Cattenom** (France)

2001 : ponts routiers de **Bourg-lès-Valence**

2002 : **Recommandations provisoires AFGC Sétra**

premier guide au monde pour la production, la caractérisation des BFUP et le calcul  
des structures utilisant ces matériaux





# GENESE

## // Principaux résultats de cette étape pionnière

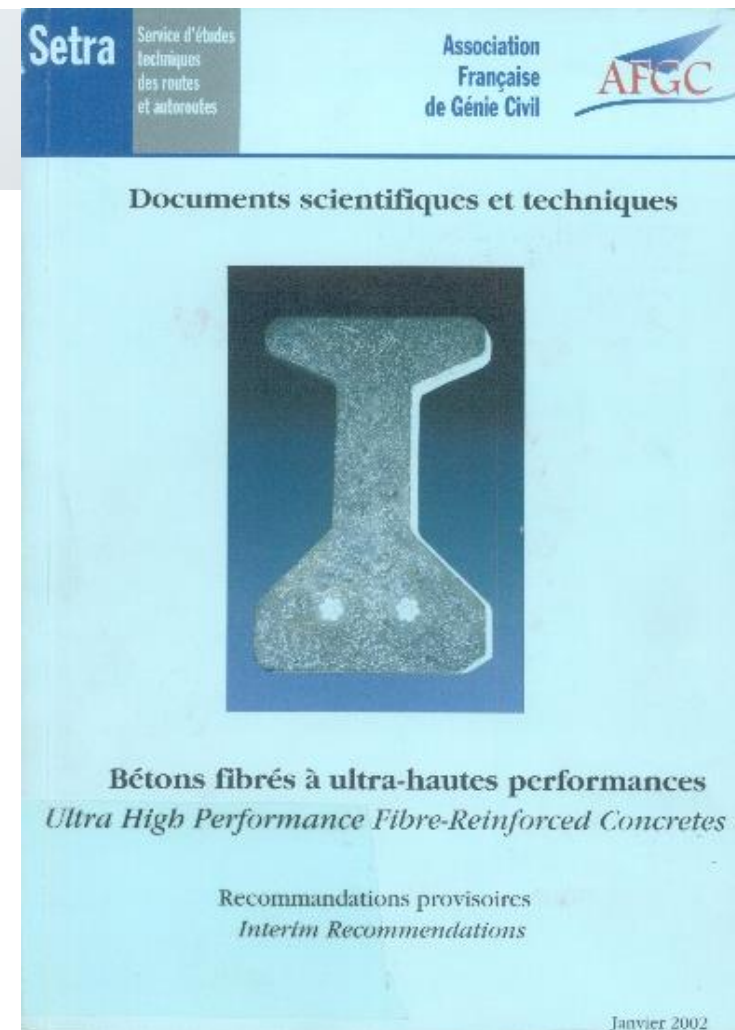
Un petit nombre de **matériaux brevetés** avec maîtrise de leur production industrielle

**Résistance dépassant nettement** celle des meilleurs bétons à très hautes performances de l'époque, avec un minimum de résistance caractéristique de 150 MPa

Capacité effective de reprise d'effort post-fissuration (cette non-fragilité permettant de se dispenser du traditionnel **ferrailage secondaire**)

Durabilité exceptionnelle (coefficients de transfert au moins 10 fois plus faible que les meilleurs BTHP) : **réduction des enrobages**

**Intérêt partagé au niveau national** dans les avancées scientifiques, la maîtrise technique et le développement d'applications pertinentes





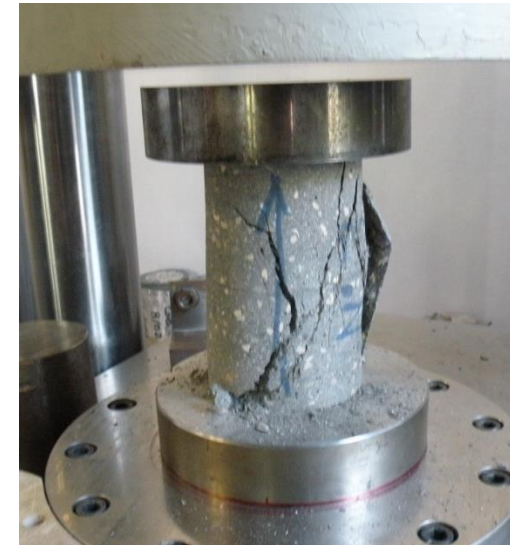
# GENESE

## // Gamme des propriétés du matériau valorisées dans les recommandations 2002 (basée principalement sur BPR et BSI-Ceracem)

- ” **Résistance en compression** : 180 – 200 MPa
- ” **Résistance en traction directe** : 9 MPa
- ” **Contrainte de traction post-fissuration (0,3 mm)** : 8 à 12 MPa
- ” **Module d'Young** : 55 à 65 GPa
- ” **Retrait total** : 550 à 600  $\mu\text{m/m}$

## // autres points notables

- ” Mise en évidence d'un comportement structurel favorable des plaques minces
- ” Forte dépendance des propriétés de traction à la direction préférentielle des fibres
- ” Bonne résistance au choc et dissipation d'énergie connues
  
- ” Après 10 ans, confirmation de résistance en compression de 230 à 250 MPa (Bourg-lès-Valence ou Cattenom)



# GENESE

## // Continuité et rupture

La résistance en compression exceptionnelle est favorable à une **optimisation extrême de la précontrainte**

“ la durabilité et l’allègement des poutres précontraintes sont apparus comme les avantages clés à rechercher dans les applications structurelles

L’absence de ferrailage secondaire libère d’une continuité systématique avec la conception traditionnelle du béton armé

“ les éléments minces en BFUP non armé apparaissent viables

Le malaxage, la mise en œuvre, le traitement thermique et la technologie des coffrages ont pu être compris dans la continuité de la technologie, alors en émergence, du **béton auto-plaçant**





# EXPLORATION

## // Application aux ponts et aux passerelles

Passerelle Sakata Mirai 2002

Passerelle de la paix Seoul – Seon Yu 2002

Passerelle de Glenmore (Calgary) 2007

Viaduc de La Chabotte (pont caisson sur A51)

Ces applications ont motivé des recherches cohérentes pour assurer **la maîtrise de la qualité du matériau** produit et mis en place, l'optimisation des méthodes d'exécution et **des règles de justification sûres** pour ces structures légères et élancées.







# EXPLORATION

## // Applications architecturales (façade et couverture)

Centre de bus de Thiais 2007

Galleria Navarra 2007

“Les Enfants du Paradis” (premières résilles) 2007

- “ Nouvelles possibilités esthétiques associées à une **qualité de surface minérale durable**, la légèreté des composants et des **formes complexes** et un effet de semi-transparence
- “ Développement des applications de BFUP à **fibres organiques ou inox**
- “ Extension de la gamme des formulations de BFUP pour répondre à la demande de **résistance au feu** (pour une résistance en compression éventuellement moindre)
- “ Développement de formes structurellement efficaces : **plaques ou coques nervurées** avec armatures passives dans les raidisseurs



# EXPLORATION

## // Réparation / renforcement

musée d'Albi (poteaux très minces)



Chemisage de poteaux ou piles : parking à Perpignan, pont de Valabre

Pont sur l'Huisne (connexion de précontrainte additionnelle)

Projets Orthoplus, Samaris & Arches (revêtement de tabliers acier ou béton)

Revêtements anti-abrasion (ouvrages hydrauliques)

- “ Valorisation des **performances intrinsèques du BFUP** et de la souplesse de **mise en oeuvre**
- “ Le coût du matériau est moins critique que **l'efficacité** (carctère auto-plaçant, absence de ferrailage) et la rapidité des phases de travaux sur site





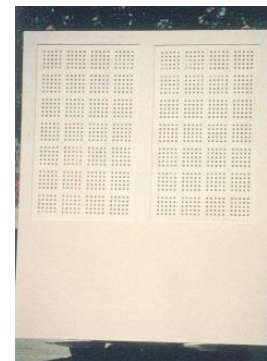
# EXPLORATION



// Des solutions techniques fortement optimisées

projets moins visibles, mais au moins aussi optimisés techniquement ont correspondu à un **décollage industriel de la technique**

- “ extension de l’aéroport d’Haneda à Tokyo
- “ ponts précontraints légers en Malaisie
- “ joints de clavage entre poutres préfabriques ou dalles de pont dans les projets Nord-Américains dits “accelerated bridge (re)construction”

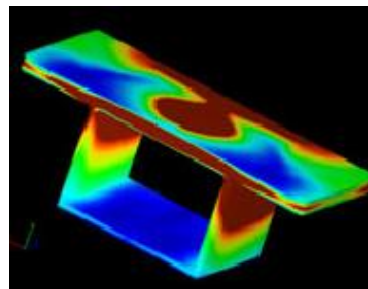
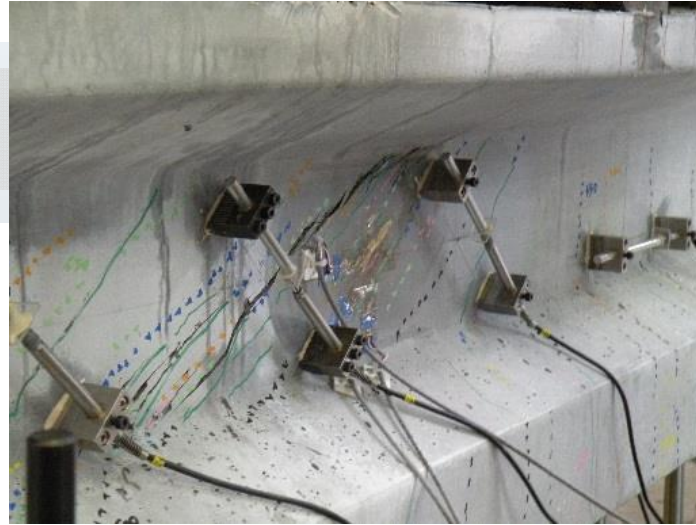


# EXPLORATION

## // Un effort de recherche « large spectre »

A titre d'illustration, travaux de l'IFSTTAR sur la **compréhension / caractérisation des propriétés constructives des BFUP**

- “ Fatigue, comportement au choc et à haute vitesse (E. Parant, J. Sercombe)
- “ Ecoulement à l'éta frais et orientation induite des fibres (L. Martinie)
- “ Caractérisation du comportement en traction et analyse inverse des essais de flexion (F. Baby)
- “ Couplages THM au jeune âge (L. Sorelli)
- “ Recyclabilité (F. de Larrard, T. Sedran)
- “ Calcul à l'effort tranchant (F. Baby)
- “ Adhérence BFUP-armatures (projet BADIFOPS)
- “ Modélisation E.F. avec prise en compte explicite de l'orientation des fibres (T. Guénet)
- “ Comportement des jonctions (A. Herrera)





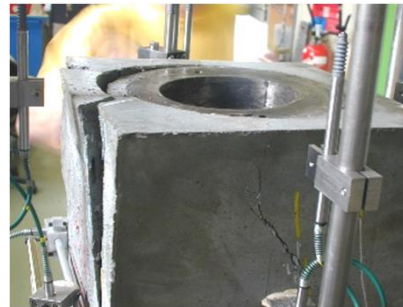
# EXPLORATION

// Qualification intégrée de nouvelles solutions

Des programmes cohérents complets ont fourni de nombreuses données utilisables pour l'élaboration et la calibration de codes

- " MIKTI/BFUP (dalle gaufrée)
- " Blocs d'ancrage de précontrainte sans frettes
- " NR2C (pont composites-bois-BFUP)
- " Orthoplus (renforcement tablier métallique)
- " BADIFOPS (réponse cyclique de poteaux)

Toutes ces données ont permis la révision des **Recommandations AFGC**



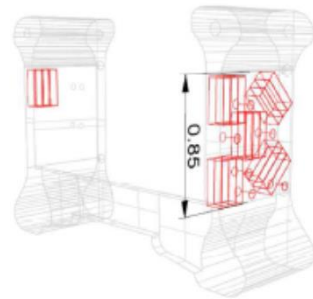
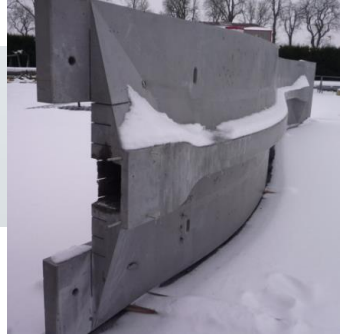
# EXPLORATION

// Gamme des propriétés du matériau valorisées dans les recommandations 2013 (basée principalement sur gammes Ductal® BSI® BCV)

- “ **Résistance en compression** : 150 – 200 MPa
- “ **Résistance en traction directe** : 9 MPa
- “ **Contrainte de traction post-fissuration (0,3 mm)** : 7 à 10 MPa
- “ **Module d'Young** : 45 à 65 GPa
- “ **Retrait total** : 550 à 800  $\mu\text{m/m}$

// autres points notables

- “ Propriétés de durabilité documentées (dépendance au rapport eau/ciment)
- “ Retour d'expérience sur facteur d'orientation effectivement obtenu dans des structures
- “ Documentation des propriétés à haute température et résistance au feu





# DEMONSTRATION

## // L'année 2013, un jalon

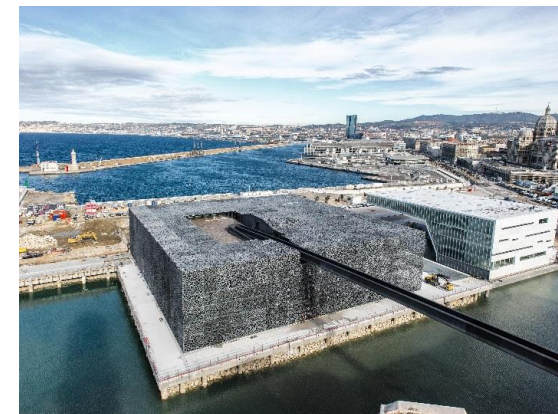
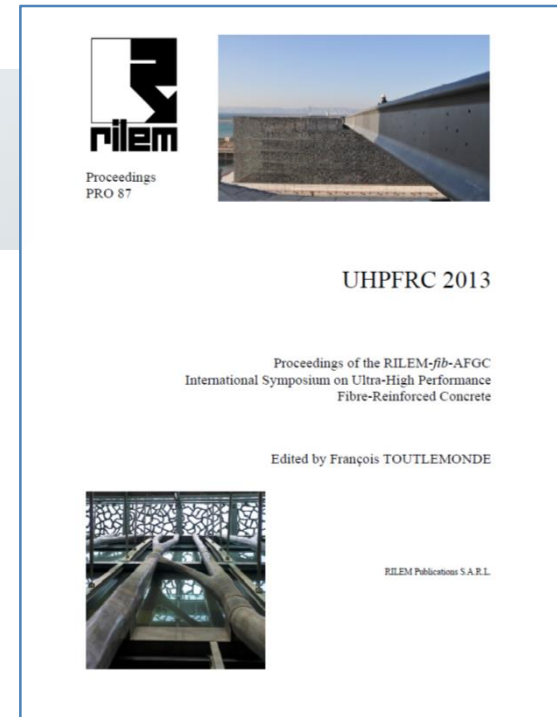
Organisation à Marseille du 2ème symposium international sur les applications des BFUP

parution de l'édition révisée des Recommandations de l'AFGC

Inauguration de 2 projets emblématiques associés à des rénovations urbaines, le MuCEM à Marseille et le Stade Jean Bouin à Paris

**Prise de conscience large du potentiel technique et architectural des BFUP à la fois par les professionnels (architectes et ingénieurs) et par le grand public, y compris les maîtres d'ouvrages.**

**L'acceptation technique partagée** des règles de conception, des procédés industriels et des dispositions constructives de tels projets, ainsi que le retour d'expérience satisfaisant de 15 ans de pratique française ont conduit à organiser sur ces bases le lancement du **processus de normalisation** en France.



# DEMONSTRATION

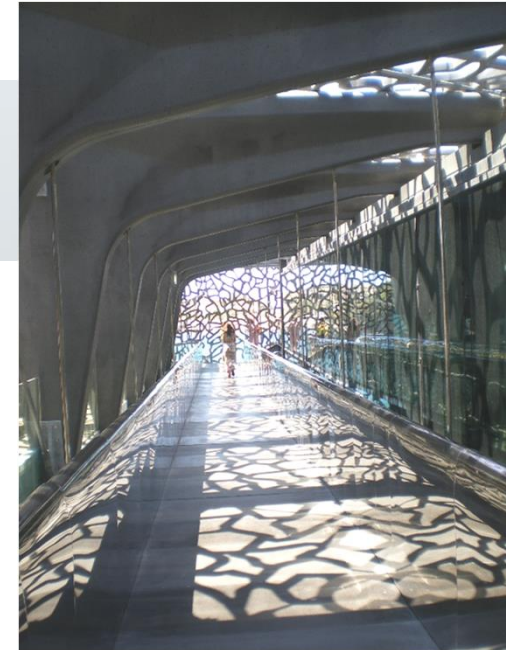
## // MuCEM: beaucoup d'avancées

### Un projet emblématique pour le BFUP

- ” 380 panneaux de résilles
- ” 2000 m<sup>2</sup> dalles minces des coursives
- ” 330 poteaux arborescents
- ” 2 passerelles de 75 m de portée
- ” 35 arbres de suspentes pour les coursives

### Enseignements

- ” Sur site: principalement l'assemblage
- ” Le flux du BFUP à optimiser au coulage
- ” Le facteur d'orientation K à re-calibrer pour chaque projet en lien avec la méthode de coulage





# DEMONSTRATION

## // le MuCEM : reconnaissance internationale

Le MuCEM a obtenu dans le cadre de l'ACI Excellence in Concrete Construction Award 2015:

- le 1er prix dans la catégorie Low Rise Building
- le Prix d'Excellence



## Museum of European and Mediterranean Civilizations

Marseille, France

1st Place, Low Rise Buildings



## THE EXCELLENCE AWARD

### MuCEM: Museum of European and Mediterranean Civilizations

Marseille, France





# DEMONSTRATION

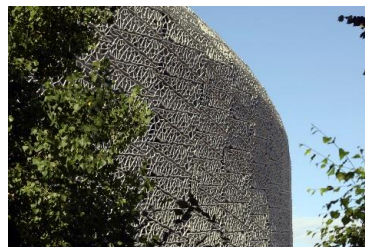
## // Jean Bouin, reconnaissance internationale

10 700 m<sup>2</sup> de panneaux de couverture (1750 plaques avec inclusion de verre), 1811 panneaux de façade ajourés.

Ces quantités ont imposé une **optimisation industrielle**.

Caractérisation + conception optimisée + coulage optimisé pour éviter les zones perturbées sans fibres + ductilité structurale quantifiée sur prototypes

La rénovation du stade Jean Bouin stadium project a obtenu dans le cadre de l'ACI Excellence in Concrete Construction Award 2015 le 1er prix dans la catégorie Decorative Concrete



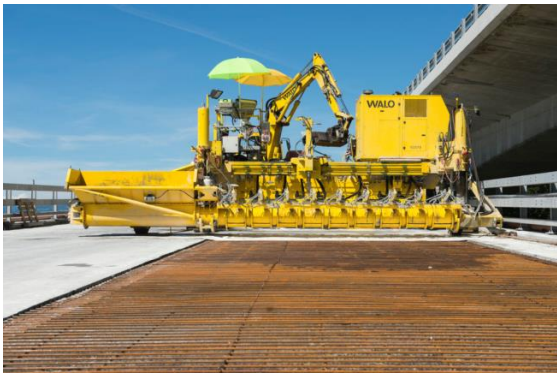


# DEMONSTRATION

## // Rénovation des viaducs de Chillon (2014 – 2015)

La rénovation des viaducs de Chillon a été proposée par le Chapitre ACI de Paris pour le ACI Excellence in Concrete Construction Award 2017 dans la catégorie Repair / retrofitting

53 000 m<sup>2</sup> réfection du tablier – 6 000 m<sup>3</sup> coulés en 6 + 4 semaines (deux étés) en épaisseur de 40 mm





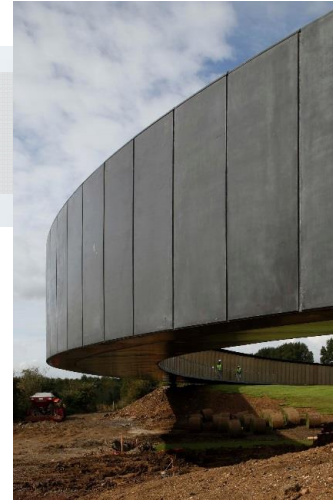
# DEMONSTRATION

## // Anneau de la Mémoire – mémorial Notre-Dame de Lorette

L'anneau de la Mémoire au mémorial Notre-Dame de Lorette a obtenu dans le cadre de l'ACI Excellence in Concrete Construction Award 2016 le 1er prix dans la catégorie Infrastructure

voussoirs de 2 à 10 cm- d'épaisseur assemblés pour former un caisson courbe précontraint de 56 m de portée. Application complète des recommandations AFGC révisées 2013

Démonstration de l'usage optimisé de la post-tension et réalisation géométrique de précision





# DEMONSTRATION

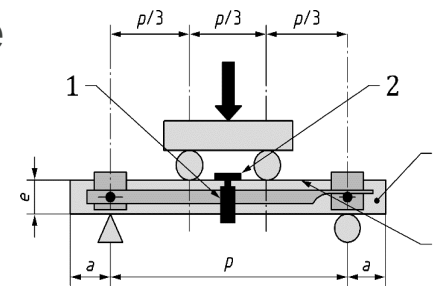
## // 2016 Deux normes constituant une première mondiale

**NF P 18-710** complément national à l'Eurocode 2  
(parties 1-1 et 1-2, ponts + incendie + séisme)

Publiée le 9 avril 2016 – Version anglaise octobre 2016

**NF P 18-470** norme autoportante équivalente à la NF EN 206/CN

Même sommaire que l'EN 206 + annexes pour les adaptations des essais  
Publiée le 6 juillet 2016 – Version anglaise novembre 2016



### Principales caractéristiques des BFUP :

- “  $f_{ck} \geq 130$  MPa pour la NF P 18-470 (incluant les importantes applications architecturales non-structurales actuelles) mais  $f_{ck} \geq 150$  MPa pour le calcul des structures en application de NF P18-710
- “ Importante capacité post-fissuration (non-fragilité)
- “ Résistance minimale en traction, caractéristiques minimales de durabilité

La mise au point des normes a favorisé une clarification et la simplification des procédures de commande / qualification des BFUP pour faciliter la valorisation des BFUP dans les marchés de travaux

ISBN 0335-0011  
**French standard**  
NF P 18-710  
16 April 2016  
Classification index: P 18-710  
ICS: 91.010.30, 91.080.40

**National addition to Eurocode 2 – Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHPFRC)**

F: Complément national à l'Eurocode 2 – Calcul des structures en béton: règles spécifiques pour les Bétons Fibrés à Ultra-Hautes Performances (BFUP)  
D: Nationale Ergänzung zu Eurocode 2 – Bemessung von Betonstrukturen: spezifische Bestimmungen für faserverstärkte Ultrahochleistungsbetone

**French standard approved**  
by decision of the Director General of AFNOR.

**Correspondence**  
At the date of publication of this document, there is no international or european standardization works on the same subject.

**Summary**  
This document, which can be considered as a national complement to Eurocode 2, applies to the design of UHPFRC structures (building and civil engineering). Consequently, this document is concerned with the requirements for resistance, serviceability, durability and fire resistance of these structures.

**Descriptors**  
Technical International Thesaurus: construction, civil engineering, concrete structures, construction, materials, limits, materials, mechanical strength, deformation, reinforcing steel, prestressing steel, durability, stress analysis, bearing, shear strength, tensile strength, strain, fatigue life, cracking (flexing), anchorage, anchors, distance, covering, beams, supports, blocks, slabs, partitions, columns, foundations, verification.

**Modifications**  
**Corrections**

Published and distributed by Association Française de Normalisation (AFNOR) – 11, rue Francis de Pressensé – 92011 La Plaine Saint-Denis Cedex – France  
© AFNOR – All rights reserved. Version of 2016-04-P

Web site: 09.12.2016.02.016 - Ce document AFNOR est à usage exclusif et non collectif du AFNORP180 "Béton"  
ISBN 0335-0011  
**norme française**  
NF P 18-470  
29 Juillet 2016  
Indice de classement: P 18-470  
ICS: 91.100.30

**Bétons — Bétons fibrés à Ultra Hautes Performances — Spécification, performance, production et conformité**

F: Concrete — Ultra-high performance fibre-reinforced concrete — Specifications, performance, production and conformity  
D: Betone — Faserverstärkte Ultrahochleistungsbetone — Spezifikationen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

**Norme française homologuée**  
par décision du Directeur Général d'AFNOR.

**Correspondence**  
À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux de normalisation internationaux ou européens traitant du même sujet.

**Résumé**  
Le présent document s'applique aux bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP) — bétons, aux structures et éléments de structures préfabriqués, aux structures et éléments de structures coulés en place, aux parties d'ouvrages exposées par moules en place, en particulier dans le cas de corrections, de revêtements ou de réparations, pour les bâtiments et ouvrages de génie civil.

**Descripteurs**  
Thésaurus International Technique: béton, fibre, acier, préfabriqué, structure en béton, définition, classification, désignation, spécification, résistance à la traction, consistance, dimension, traitement thermique, résistance à la compression, mise en volume, coulage, composition, choix, ciment, utilisation, garantie, essai, adhésif, adhésif pour béton, réparation, durabilité, contrôle de qualité, essai de conformité, essai de compression, essai de flexion, essai de traction, essai d'abrasion.

**Modifications**  
**Corrections**

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, rue Francis de Pressensé — 92011 La Plaine Saint-Denis Cedex  
Tel.: +33 (0)1 41 49 60 30 — Fax: +33 (0)1 41 49 60 31 — www.afnor.org  
© AFNOR — Tous droits réservés. Version de 2016-07-P



# DEMONSTRATION

## La gamme des propriétés minimales et des exigences spécifiées – NF P18-470

### // Socle minimal

Résistance en compression BFUP  $f_{ck} \geq 130 \text{ MPa}$  BFUP-S  $f_{ck} \geq 150 \text{ MPa}$

Résistance en traction  $f_{ctk,el} \geq 6,0 \text{ MPa}$  et non-fragilité (écrouissant en flexion)

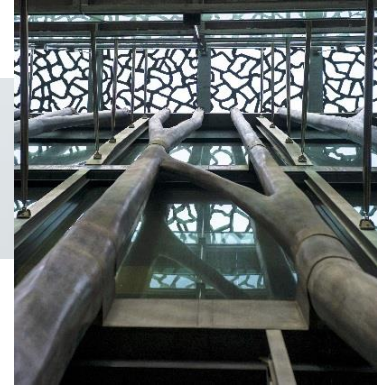
Porosité à l'eau à 90 jours  $\leq 9,0 \%$  ;  $D_{Cl-90j} \leq 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $K_{gaz 90j} \leq 9 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$

$D_{sup} \leq 10 \text{ mm}$  ; densité 2200 à 2800  $\text{kg}/\text{m}^3$  ;

Facteurs d'orientation  $K_{local} \leq 2,5$  et  $K_{global} \leq 2,0$

### // Carte d'identité (exigences de base)

- “ consistance et durée pratique d'utilisation ; teneur en air ;
- “ résistance caractéristique en compression (à 28 jours pour les BFUP de type STT et TT1, avant et après traitement thermique post-prise pour les BFUP de type TT2 et TT1+2) ;
- “ contrainte maximale et valeurs décrivant le comportement caractéristique en traction ; classe de comportement en traction, par référence à un emploi donné associé à un procédé de mise en œuvre et à un coefficient K ;
- “ module d'Young ; masse volumique ;
- “ porosité à l'eau, mesurée à 90 jours ; coefficient de diffusion apparent des ions chlore ; perméabilité aux gaz ;
- “ coefficient de dilatation thermique ;
- “ amplitude du retrait total





# DEMONSTRATION

## Exigences complémentaires – NF P18-470

### // Carte d'identité (propriétés complémentaires)

- “ contrainte maximale et valeurs décrivant le comportement caractéristique en traction, et classe de comportement en traction (par référence à d'autres emplois donnés, notamment d'épaisseurs différentes, associés aux procédés de mise en œuvre adoptés et aux coefficients K obtenus) ;
- “ caractéristiques liées au retrait et au fluage ;
- “ classe correspondant à la réaction au feu, éventuelles données caractérisant la résistance à l'instabilité thermique, paramètres associés au calcul de résistance au feu
- “ résistance à l'abrasion ;
- “ résistance moyenne à la compression ;
- “ contrainte maximale moyenne post-fissuration ;
- “ caractéristiques décrivant le comportement à haute vitesse de sollicitation

### // Valeurs indicatives pour une première approche de conception

- “ NF P 18-710 annexe T

Matériaux mieux connus, valeurs de référence pour plusieurs BFUP et modes opératoires documentés...  
Mais matériaux plus variés !



## ET DEMAIN ?

### // Des ponts originaux... et des ouvrages courants ?

grâce à l'optimisation de la conception, le BFUP a rendu **compétitives** des solutions dans des situations potentiellement génériques

Exempels récents en France:

- ” pont de Buthaumont (poutres ITE®)
- ” passerelle du Cannet-des-Maures

Avantages indirects d'un pont léger / élancé :

- en cas de conditions de sol difficiles
- lancement plus rapide / moins cher
- remblais d'accès diminués

Acceptabilité par les maîtres d'ouvrage ?

Acceptabilité par les bureaux de contrôle ?

Situation plus favorable en Malaisie ?





# ET DEMAIN ?

## // Solutions de réparation

### Renforcement des tabliers de pont et protection:

- Plus de 50 tabliers de ponts en béton revêtus de BFUP en Suisse
- Une montée en puissance possible aux USA à la suite de la restauration du viaduc Pulaski
- Mise en oeuvre progressive en France pour les tabliers de pont et des ouvrages de signalisation maritime ?
- Renforcement sismique (chemisage) ?

Les solutions de réparation, **également pour les bâtiments**, envisagent de plus en plus le BFUP à cause de sa facilité spécifique de mise en oeuvre, de ses performances structurelles, sa durabilité et l'économie de poids, qui aboutissent à des solutions **économiques malgré un coût unitaire du matériau encore élevé.**



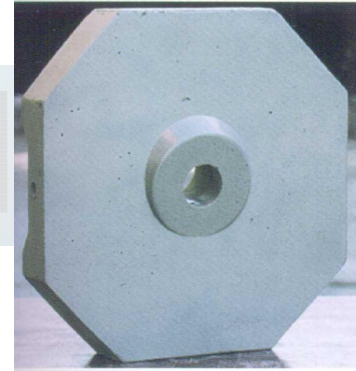
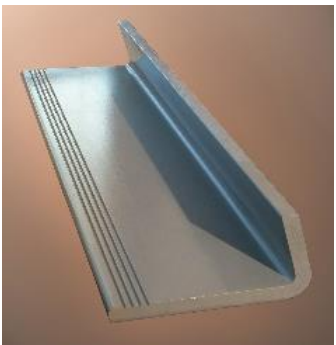
## ET DEMAIN ?

// Des séries optimisées d'applications « techniques », spécialement pour une durabilité extrême ?

Exemples:

- ~ Plaques d'ancrage d'un mur à la mer à La Réunion
- ~ Bâtiment de l'usine de traitement des eaux d'Achères
- ~ Equipements et mobilier urbain (murs anti-bruit...)

Rentable ? A faible empreinte environnementale ?  
Opportunités dans le champ des énergies renouvelables ?





## ET DEMAIN ?

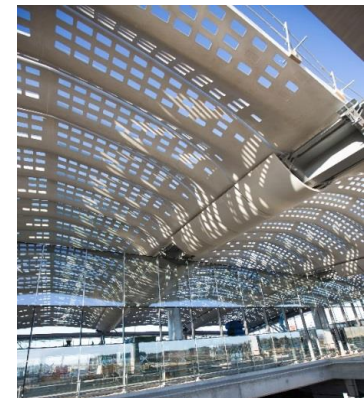
### // Des panneaux de façade et toiture à forte valeur architecturale

Actuellement l'application dominante en France, qui tire le marché des BFUP :

- ” pour les bâtiments (Siège de “Vente Privée”, immeubles “La Mantilla”...)
- ” pour de grands équipements (gares TGV de Montpellier et de Nantes)

Les solutions BFUP basées sur des panneaux très fins, de forte transparence et qualité architecturale ont été rendues viables économiquement grâce à la légèreté de ces éléments secondaires et une ingénierie avancée de la préfabrication

Des développements futurs possibles liés à la tendance à l'isolation par l'extérieur ?



## ET DEMAIN ?

### // Conditions pour le futur développement des BFUP

- “ **Consolidation du savoir-faire en ingénierie (calcul) et production.** Une spécialisation “BFUP” effective s’est opérée pour plusieurs architectes, concepteurs, bureaux d’étude et de contrôle, fournisseurs et préfabricants, en nombre relativement restreint.
- “ **La formation** associée à la diffusion des nouvelles normes devrait renforcer ces capacités. Les programmes de formation initiale au béton des ingénieurs restent à mettre à jour.
- “ La poursuite des **efforts de recherche** devrait notamment s’intéresser à :
  - “ la modélisation avancée des BFUP,
  - “ le calcul sismique des BFUP,
  - “ le développement de “solutions BFUP-types”,
  - “ l’optimisation de procédés de mise en oeuvre non-courants (BFUP projeté, impression 3D ...) susceptibles d’élargir le champ des applications économiques des BFUP





## ET DEMAIN ?

### // BFUP-Z et BFUP-A : vers une norme de calcul ?

- “ extension de la NF P 18-710 aux BFUP-Z ?
- “ coefficients partiels et fiabilité pour les BFUP-A
- “ continuité avec le béton armé de l'EC2 : fausse bonne idée ?

### // l'économie des BFUP-S ?

- “ constituants moins chers, mais réguliers et performants ?
- “ l'investissement industriel ? et humain ?
- “ l'avantage des BFUP se construit par une ingénierie intégrée

### // les BFUP interrogent la profession

- “ connaissance, formation, innovation, motivation ?
- “ avance historique en France ? boom en Malaisie ?
- “ l'empreinte environnementale : outils de calcul et optimisation



## POUR EN SAVOIR PLUS



[1] AFGC-Sétra (2002) Bétons fibrés à ultra-hautes performances, Recommandations provisoires – édition révisée 2013.

[2] Toutlemonde F. & Resplendino J. eds. (2011) Designing and Building with UHPFRC: State of the Art and Development, ISTE-Wiley



[3] Toutlemonde F. & Resplendino J. eds. (2013) UHPFRC 2013. Designing and Building with UHPFRC: From innovation to large-scale realizations, RILEM Proceedings PRO 87

[4] Revue TRAVAUX (2015) N° 920, Spécial BFUP, décembre (coordonné par Z. Hajar)



[5] AFNOR (2016) NF P18-470. Bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP) : Spécification, performance, production et conformité

[6] AFNOR (2016) NF P18-710. Complément national à l'Eurocode 2 – Calcul des structures en béton: règles spécifiques pour les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP)



# INVITATION AU PARTAGE D'EXPERIENCE

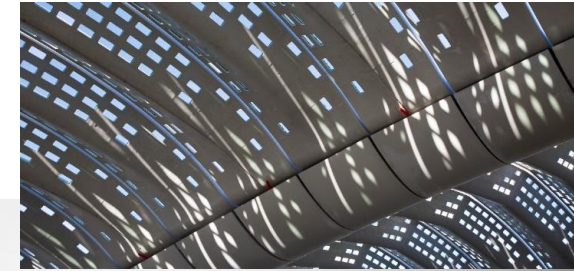
## UHPFRC 2017

### 3<sup>rd</sup> International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete

Designing and Building with UHPFRC:  
New large-scale implementations, recent  
technical advances, experience and standards

2 – 4 octobre 2017

Montpellier (FRANCE)





MERCI  
DE VOTRE  
ATTENTION

