

JOURNÉE TECHNIQUE :

Les BFUP en réhabilitation d'ouvrages de génie civil

Réduction de la perméabilité

Romain PITTET - APRR-AREA

PIARC France
ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE
COMITÉ FRANÇAIS

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

IMGC

BFUP - Réduction de la perméabilité :
Projets BFUP APRR A6 et A36

APRR-AREA
Direction du Patrimoine
Département Gestion du Patrimoine

PIARC FRANCE Comité français de l'Association mondiale de la Route

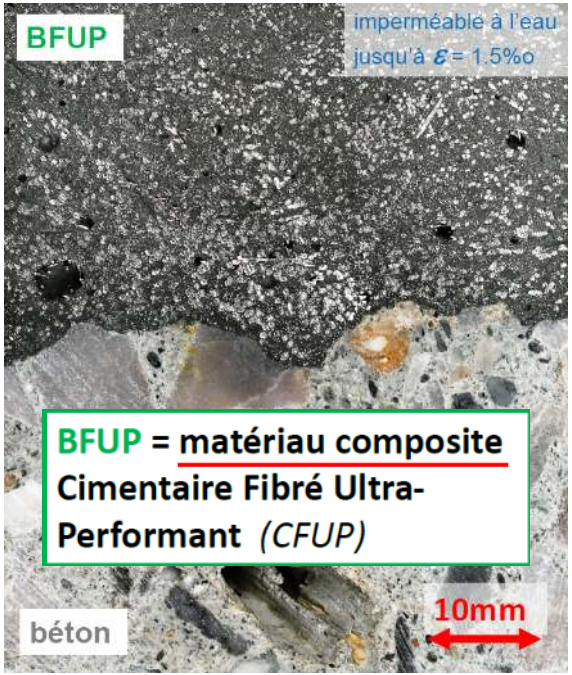
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

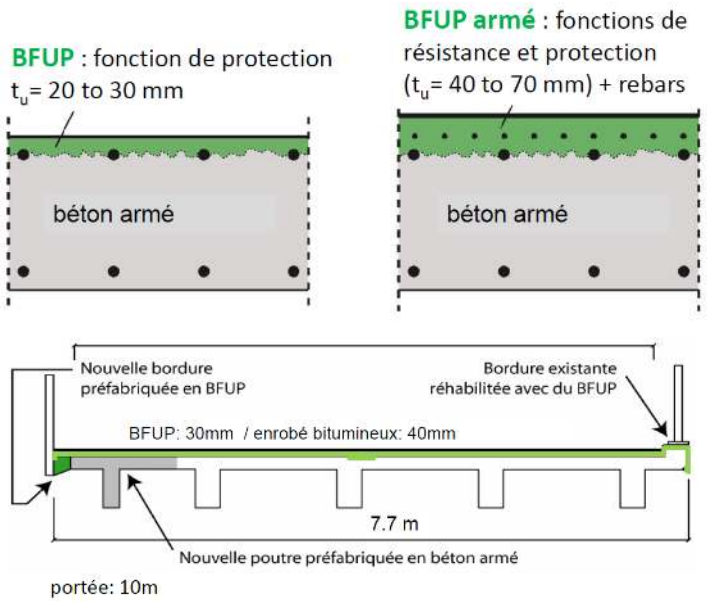
IMGC

APRR | AREA

L'idée du BFUP sur ouvrage : le REX Suisse

- **Colloque Le Pont 2017 à Toulouse : Présentation Eugen Bruehwiler de l'EPFL**





1ere application CFUP en 2004



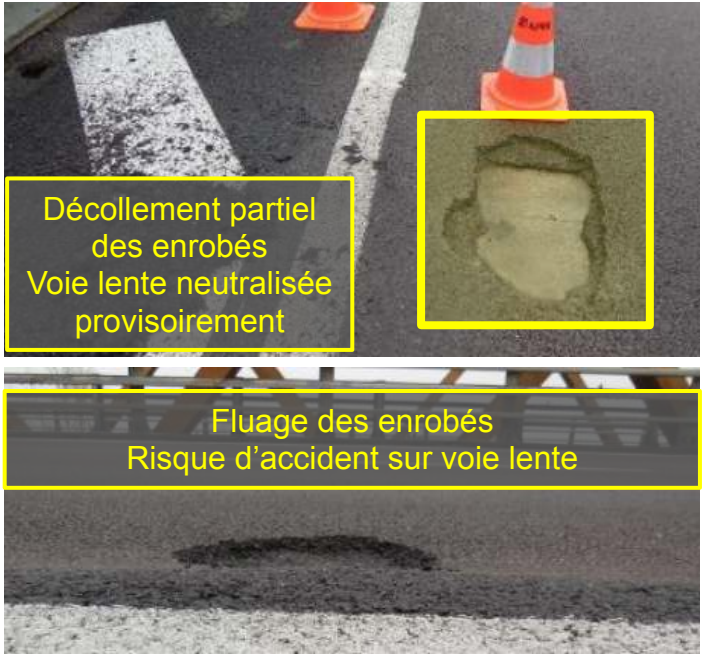




Les problèmes du réseau APRR

- **Problème de sécurité pour les clients de l'autoroute A36 en lien avec la chaussée**
- **Amélioration de la sécurité des clients et de l'impact environnemental sur A6**

A36 : Viaduc du canal de la Saône



A6 : Viaduc de Pont d'Ouche



La genèse des projets BFUP APRR

- **Des contraintes techniques et d'exploitation nous dirigeant vers une solution BFUP**

A36 : Viaduc du canal de la Saône

Propagation de la chaleur :

Structure métallique (effet "radiateur")

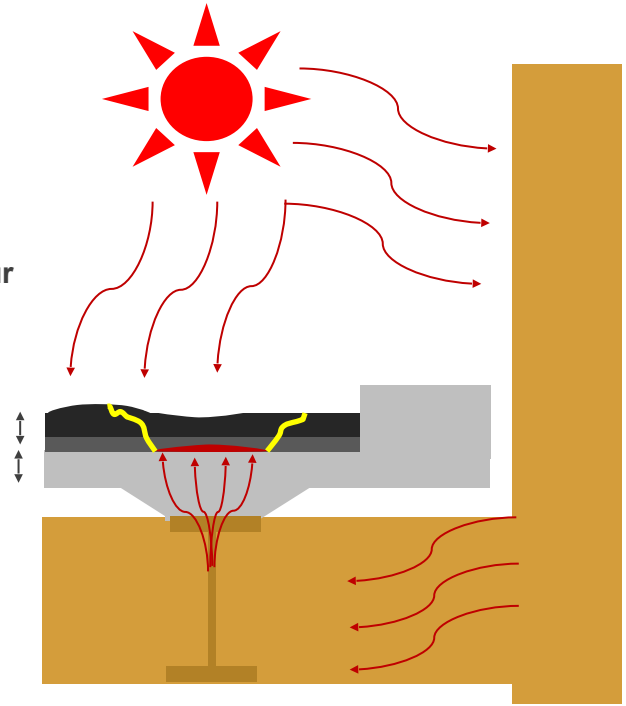
Manque d'épaisseur de matériaux

Faible épaisseur de tablier 20 cm

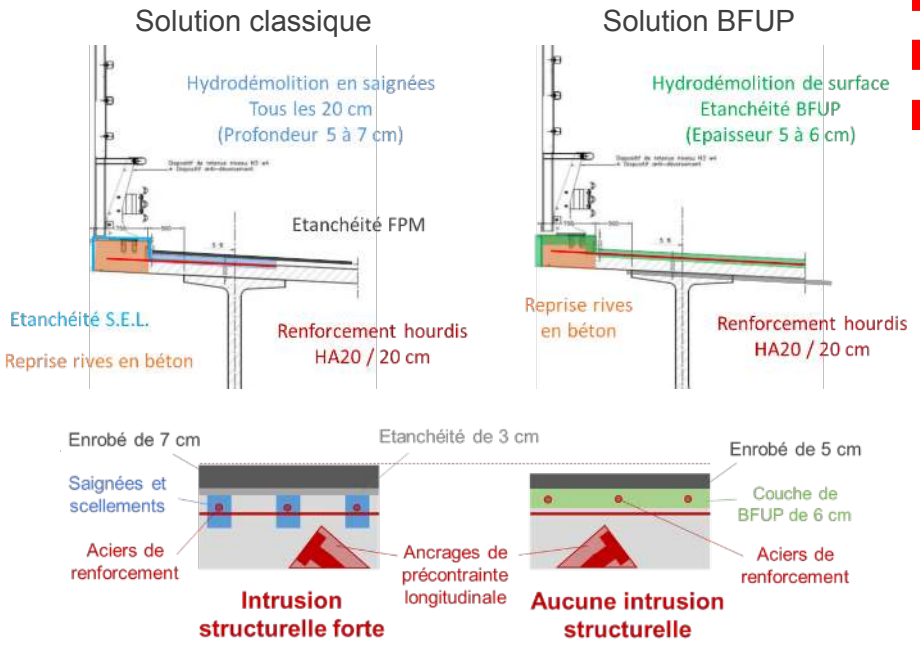
Faible épaisseur de complexe 7 cm

Délai contraint de réparation

Mars-Juin 2021



A6 : Viaduc de Pont d'Ouche



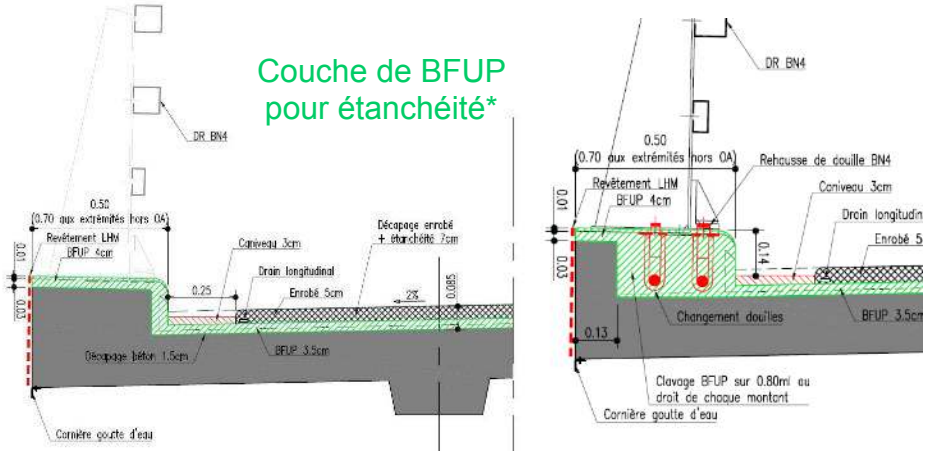
Les projets BFUP APRR en détails

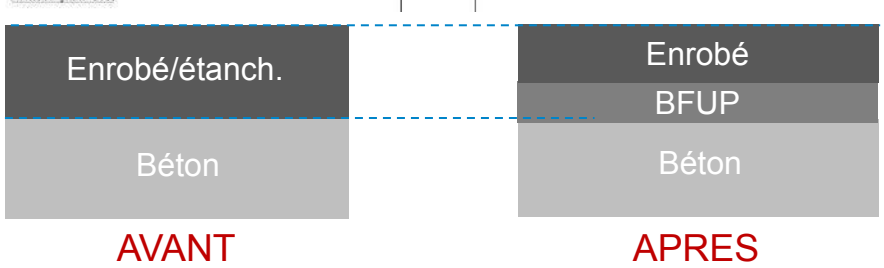
Etanchéité* = Réduction de la perméabilité

- **Une conception spécifique à chaque ouvrage**

Projet BFUP A36

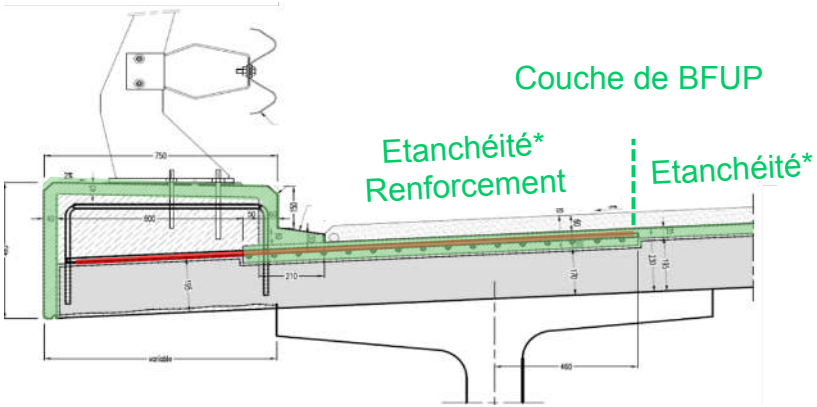
Couche de BFUP pour étanchéité*



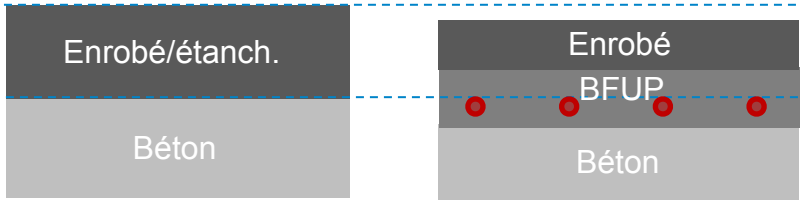


AVANT APRES

Projet BFUP A6



AVANT APRES

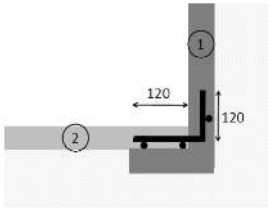


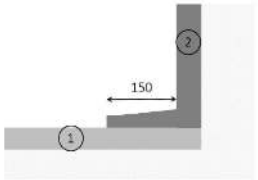
Les projets BFUP APRR en détails

- **Des joints de reprise spécifique issue du cahier technique SIA 2052**

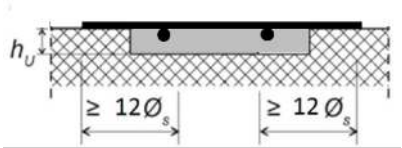
Projet BFUP A36

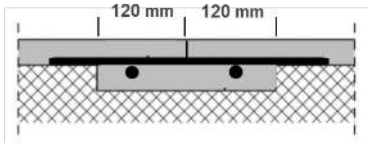
Joint BFUP Longrine

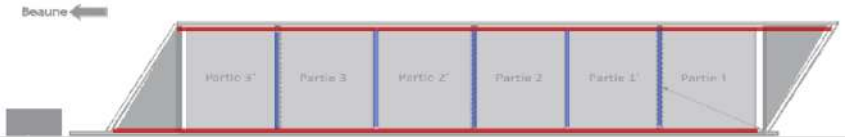




Joint BFUP Section courante



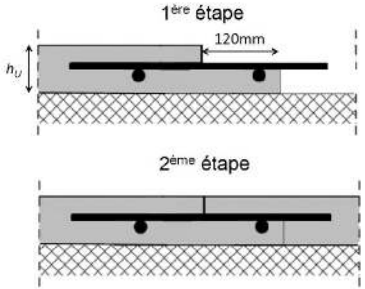




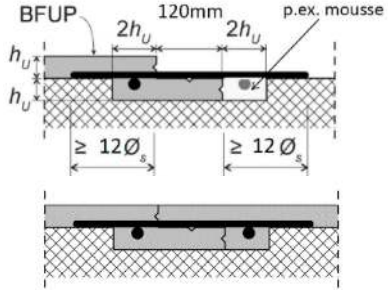
Vue en plan du tablier

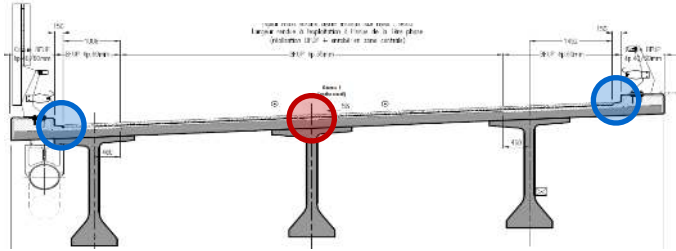
Projet BFUP A6

Joint BFUP Longrine



Joint BFUP Section courante





Le Comité Technique BFUP APRR

- **Un comité d'experts créé en juillet 2020 pour challenger les projets BFUP**

Comité Technique BFUP

François Toutlemonde — Université Gustave Eiffel

Pierre Marchand
Grégory Généreux
Christophe Aubagnac — Cerema (Autun, Paris, Aix en Provence)

Eugen Bruhwiler — EPFL

Benjamin Simian — INGÉROP

Adrien Roibet — IXO

Adrien Houel et Didier Germain — Ministère chargé des transports

Jean-Luc Dabert, Romain Pittet — APRR

Protocole Expérimental et de Suivi

Dalle d'essai de mise en œuvre	Convenances BFUP Mise en œuvre Calibrage des critères Tests d'étanchéité Instrumentation	
Poutres d'essai Pull-Out*	Calibrage des critères Adhérence du BFUP Cisaillement interface Non fendage du BFUP	
Dalle de vieillissement	Evolutions visuelles Essais mécaniques Propriétés intrinsèques Comportement chimique Evolution interface	

*Projet A6 uniquement

Le Comité Technique BFUP APRR

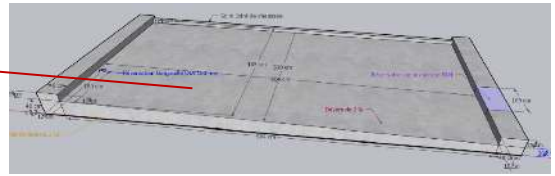
- **Une normalisation française et des paramètres spécifiques en Suisse**

SIA 2052	Normes NF P 18-470 et NF P 18-451	Exigences complémentaires
CFUP écrouissant UB Dosage en fibres supérieur à 3% Palier écrouissant de 2 à 3 ‰ Résistance en traction > 10 MPa	Comportement Traction : T2 ou T3 Limite post fissuration > 10 MPa Améliorations Dp+ et Dc+	Limitation de la traction : 1 ‰ retenu au CCTP Palier écrouissant : 2 à 3 ‰ retenu au CCTP
Joints de reprise BFUP Enrobage réduit des aciers Taux d'aciers de 2,4% minimum Préparation spécifique	Enrobage limité Humidification du support à refus Macrorugosité des supports	Microrugosité des supports
Préparation des supports Macro et microrugosité du béton Microrugosité du BFUP Humidification à refus	Humidification du support à refus Macrorugosité des supports	Microrugosité des supports

Le Comité Technique BFUP APRR

- **La dalle d'essai de mise en œuvre sur les 2 projets BFUP**

Dalle béton
Pente 2%
Ou Pente 5%

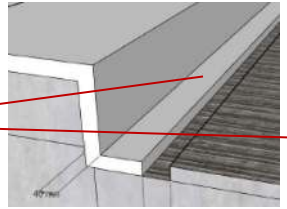


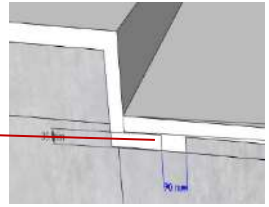
Surfaçage béton

Macro et microrugosité



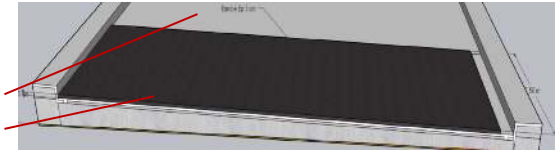
Joints de reprise
SIA 2052





Essais d'adhérence

Essais SATEC
Essai SBT/TBT



Instrumentation
Fibre optique et tresses cuivres



Test des joints
Section courante (SC)



Test des joints
Longrine/SC



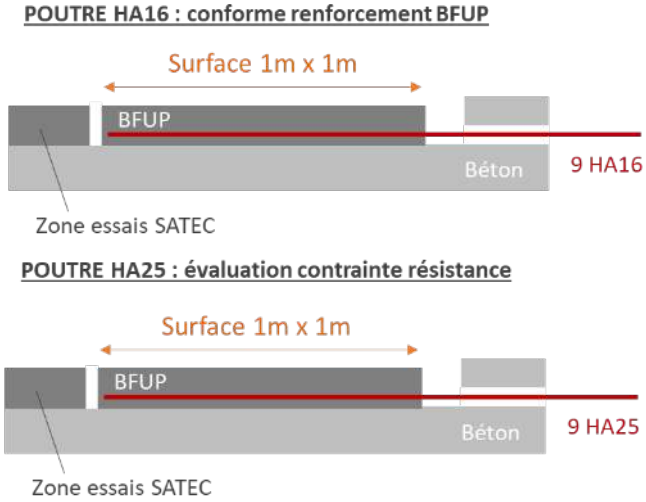
Test de mise en œuvre
Lissage BFUP



Le Comité Technique BFUP APRR

- **Les poutres d'essai du projet BFUP A6 : renforcement au choc sur DRR CE**





REX Simulation numérique

Effort de choc sur acier :
Environ 4T par acier au maximum

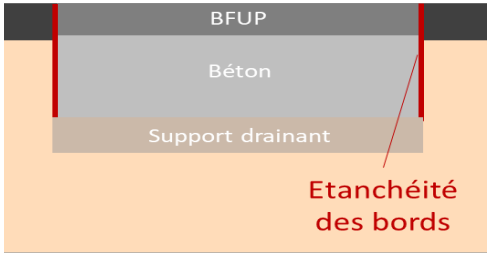






Le Comité Technique BFUP APRR

- **La dalle de vieillissement**













Un témoin de vieillissement

Conception identique au viaduc
Couche de BFUP à l'air libre
Dalle avec pente en accotement

Un site à proximité immédiate du viaduc

Exposition aux conditions d'ambiance du viaduc

Les enjeux des projets BFUP APRR

- **Des enjeux forts sur le BFUP et sa mise en œuvre**

REX dalles d'essai





Performances et critères pour chantier

Adhérence BFUP/Béton > 1,5 MPa

Macrorugosité et microrugosité

à vérifier sur site suite à

l'hydrodémolition

Adhérence Enrobé/BFUP

Microrugosité à vérifier sur site

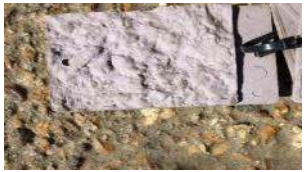
suite à l'hydrodécapage

Dosage de l'imprégnation

Contrôles sur chantier Points d'arrêt des opération













Les enjeux des projets BFUP APRR

- **Des enjeux forts sur le BFUP et sa mise en œuvre**

REX dalles d'essai





Performances et critères pour chantier

Etanchéité des joints

Assurer :
120 mm de recouvrement BFUP
12 fois le diamètre d'acier de couture pour la longueur d'ancrage

Adhérence des joints

Assurer une rugosité de support sur le BFUP de 1er phase

Insérer des aciers de couture avec un taux minimal de 2,4%

Contrôles sur chantier Points d'arrêt des opération









Les enjeux des projets BFUP APRR

- **Des très bons retours d'expérience du protocole expérimental**

REX Mise en eau





Aucune venue d'eau détectée
Pas de trace d'humidité en sous-face du béton

REX Poutres d'essai*







Rupture de la poutre après 12T sur HA25 et 13T sur HA16
Aucun fendage du BFUP observée jusqu'à la rupture

Les chantiers BFUP APRR en images

- **La production du BFUP**

Projet BFUP A36



Production Hourdis et Longrine

Projet BFUP A6



Production Hourdis



Production Longrine

Les chantiers BFUP APRR en images

- **La préparation de surface des tabliers**

Projet BFUP A36



Projet BFUP A6



Les chantiers BFUP APRR en images

- **La ferraillage de l'extrados des tabliers**

Projet BFUP A36







Projet BFUP A6









Les chantiers BFUP APRR en images

- **Le coulage BFUP des longrines**

Projet BFUP A36







Projet BFUP A6







Les chantiers BFUP APRR en images

- **Le coulage BFUP du hourdis**

Projet BFUP A36



Projet BFUP A6



Les chantiers BFUP APRR en images

- **La préparation du BFUP sur le hourdis**

Projet BFUP A36






Projet BFUP A6





Les chantiers BFUP APRR en images

- **La mise en œuvre de l'enrobé**

Projet BFUP A36







Projet BFUP A6





Les points de vigilance du REX BFUP APRR

Peau d'éléphant sur section courante



Bullage des longrines en face verticale



Mauvaise finition des joints



Trace de pas sur BFUP



Mariage liaison section courante/longrine





Les points de vigilance du REX BFUP APRR

Préparation du béton support





Régularité de production



Préparation des joints BFUP



Cheminement de la finisseuse





Les points de vigilance du REX BFUP APRR

Humidification du béton support

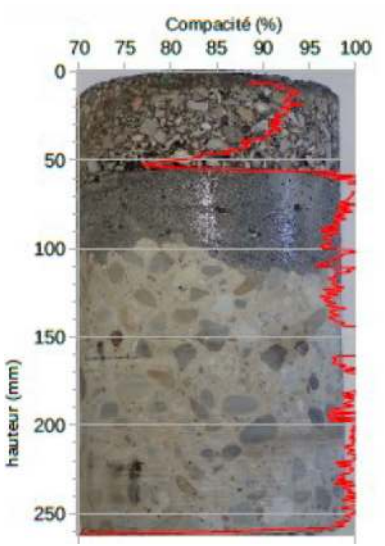








Adhérence des couches






BÉTON FIBRÉ
À ULTRA-HAUTES
PERFORMANCES
Un matériau d'avenir
APRR

Direction du Patrimoine

Romain.PITTET@aprr.fr
Jeanluc.DABERT@aprr.fr





Crédits photos-Sémaphore & Co