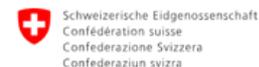


JOURNÉE TECHNIQUE :

Les BFUP en réhabilitation
d'ouvrages de génie civil

Réduction de la perméabilité

Romain PITTET - APRR-AREA



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

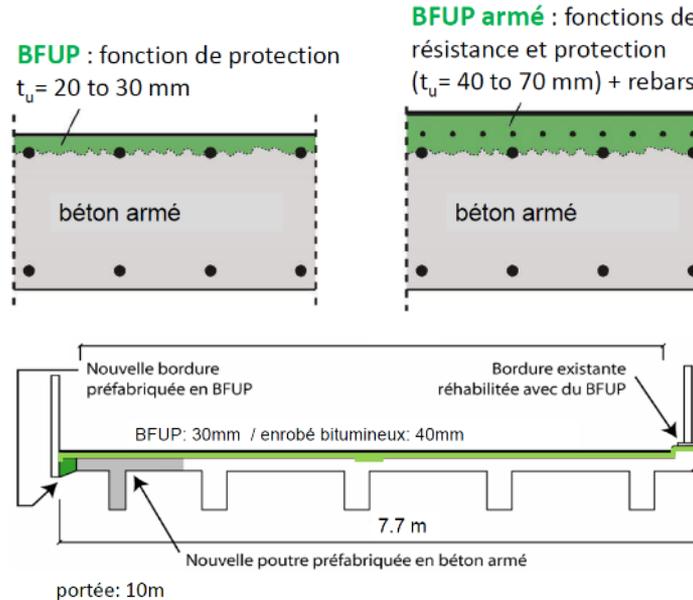
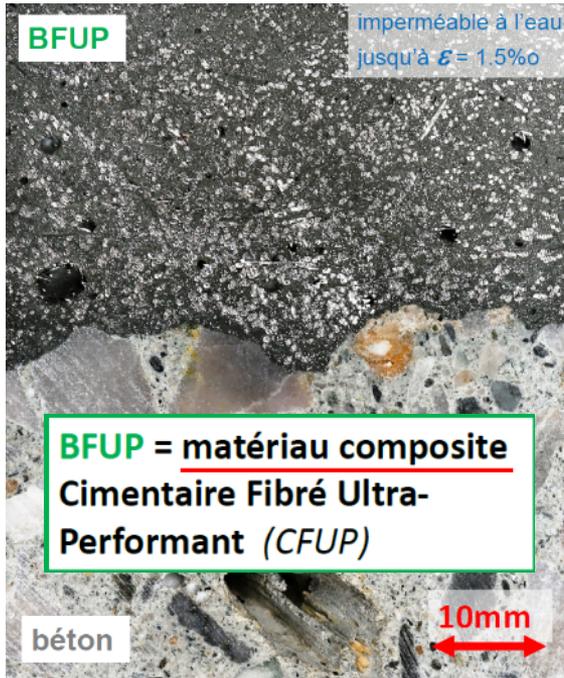


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



L'idée du BFUP sur ouvrage : le REX Suisse

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



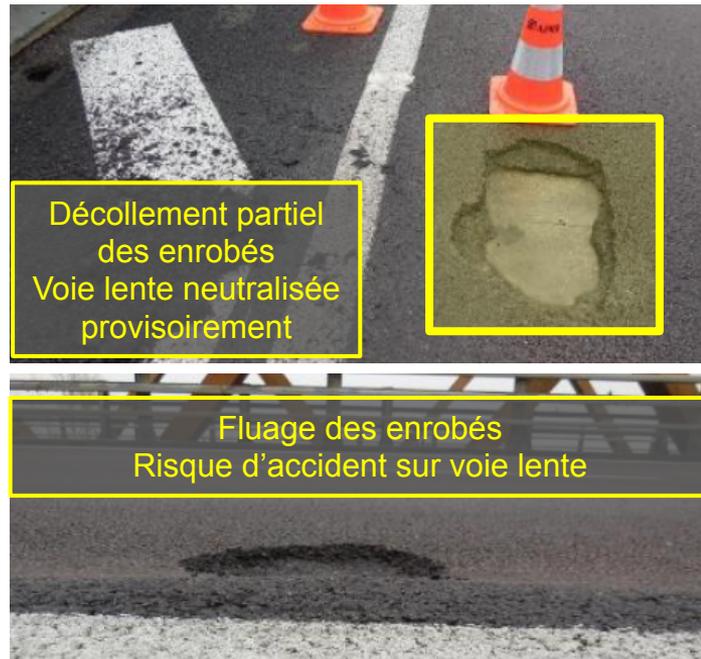
1^{ere} application CFUP en 2004



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")

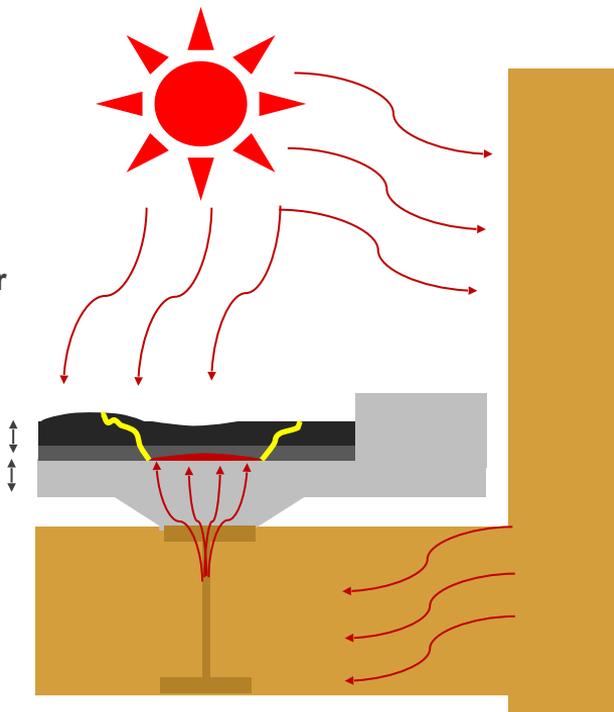
Manque d'épaisseur de matériaux

Faible épaisseur de tablier 20 cm

Faible épaisseur de complexe 7 cm

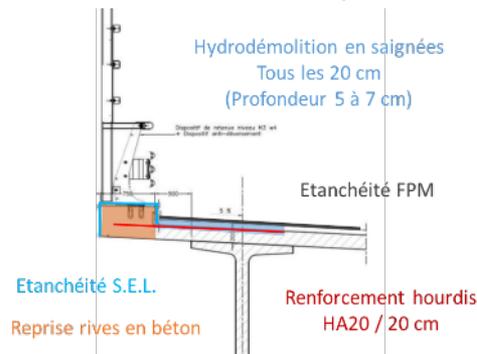
Délai contraint de réparation

Mars-Juin 2021

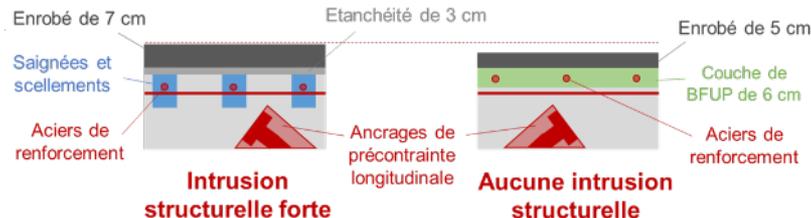
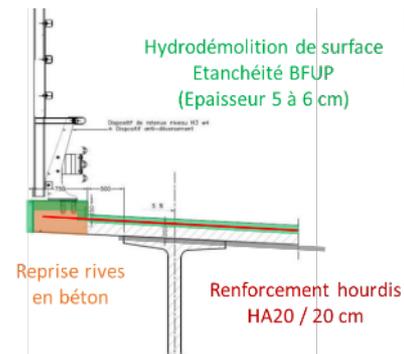


A6 : Viaduc de Pont d'Ouche

Solution classique



Solution BFUP

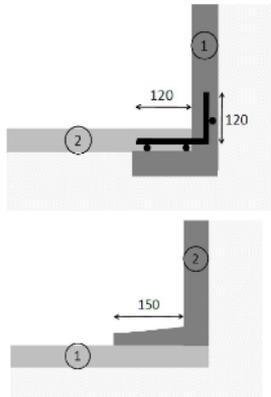


Les projets BFUP APRR en détails

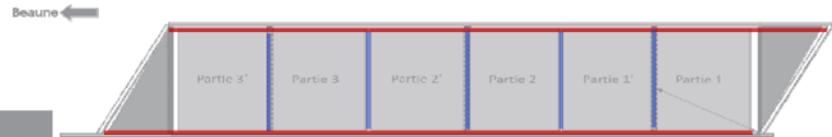
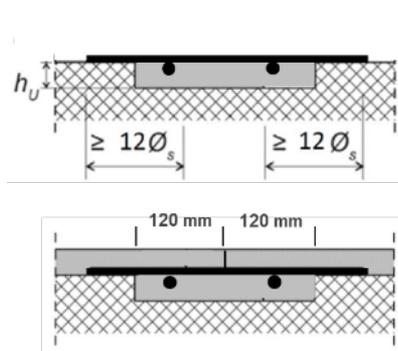
- Des joints de reprise spécifique issue du cahier technique SIA 2052

Projet BFUP A36

Joint BFUP Longrine



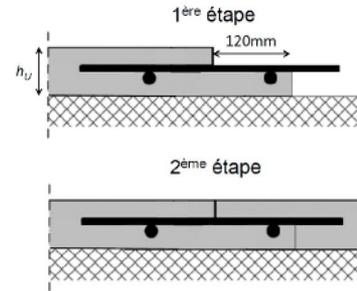
Joint BFUP Section courante



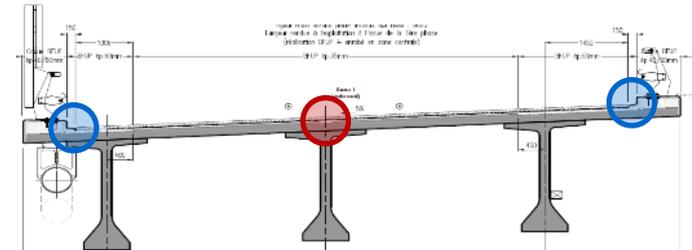
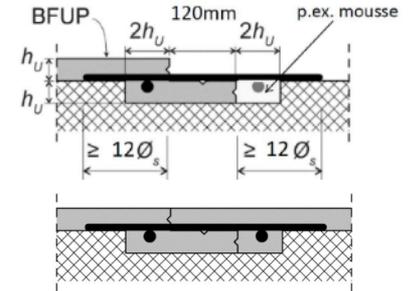
Vue en plan du tablier

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
Inventons demain

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 vieillessement

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 écouissant UB

Dosage en fibres supérieur à 3%
Palier écouissant 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 écouissant :
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

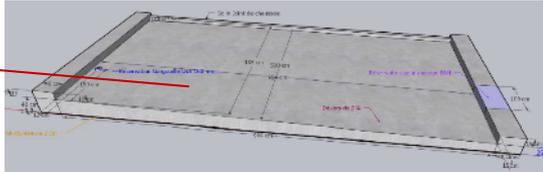
Humidification du support à refus
Macrorugosité des supports

Microrugosité des supports

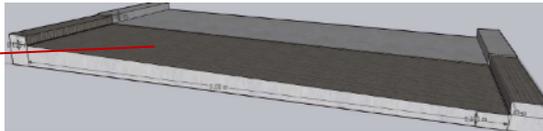
Le Comité Technique BFUP APRR

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

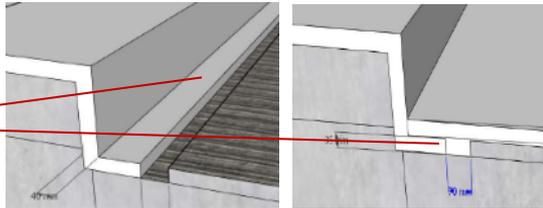
Dalle béton
Pente 2%
Ou Pente 5%



Surfaçage béton
Macro et microrugosité

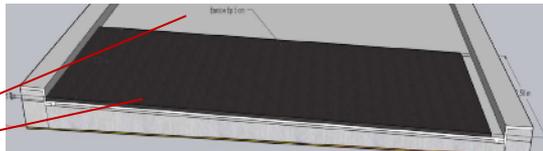


Joints de reprise
SIA 2052



Essais d'adhérence

Essai SATEC
Essai SBT/TBT



Instrumentation
Fibre optique et tresses
cuivres



Test des joints
Longrine/SC



Test de mise en œuvre
Lissage BFUP

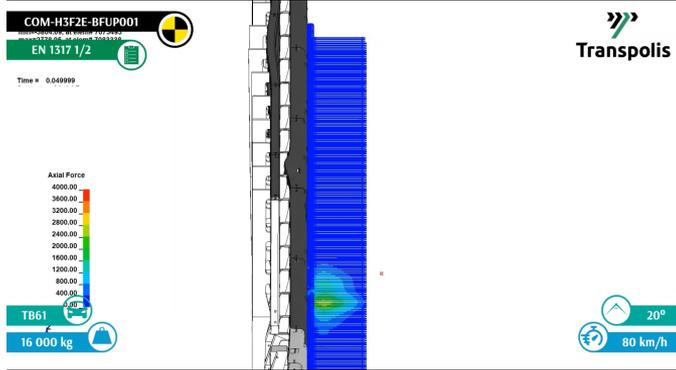


Test des joints
Section courante (SC)

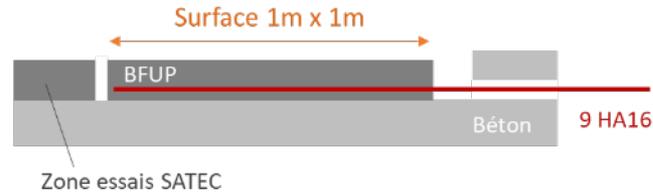


Le Comité Technique BFUP APRR

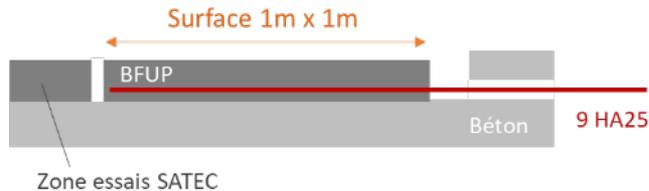
- Les poutres d'essai du projet BFUP A6 : renforcement au choc sur DRR CE



POUTRE HA16 : conforme renforcement BFUP



POUTRE HA25 : évaluation contrainte résistance

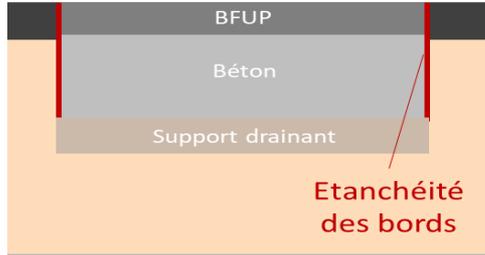


REX Simulation numérique

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

Étanchéité 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 1^{er} 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



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 ferrailage 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

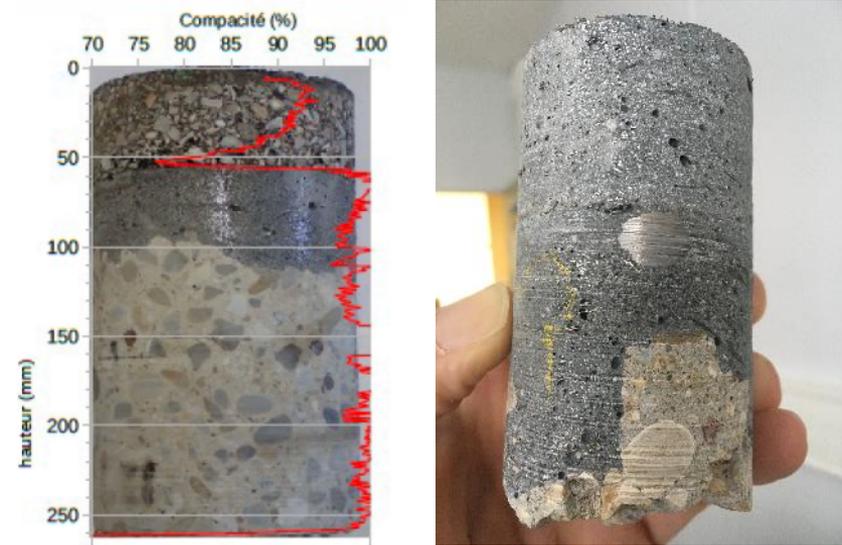


Les points de vigilance du REX BFUP APRR

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

