

# Rencontres Ouvrages d'Art 2018



Renforcement de  
buses métalliques par  
BFUP projeté

C. LARIVE, **S. BOUTEILLE**, D.  
CHAMOLEY  
B. PETIT, A. HUYNH, F. TEPLY  
S. BERNARDI, L. TRUCY, J. DERIMAY  
P. MARCHAND

# Sommaire

- 1 – Projet lauréat du CIRR
- 2 – Projeter un BFUP ?
- 3 – Caractéristiques du BFUP projeté
- 4 – Chantier expérimental
- 5 – Méthodes de calculs
- 6 – Essais sur prismes ondulées
- 7 – Elément témoin 1:1
- 8 – Pourquoi projeter le BFUP

# 1 – Projet Lauréat du CIRR

Lauréat de l'appel à projets 2016 : Régénération et renforcement de tunnels, voûtes, buses métalliques et galeries par coque ultra mince en BFUP projeté (FREYSSINET - Lafarge Holcim)



## 2 – Projeter un BFUP



Le BFUP un matériau auto-plaçant... **un challenge!**

**2<sup>ème</sup> challenge** : projection sans activateur

## 2 – Projeter un BFUP



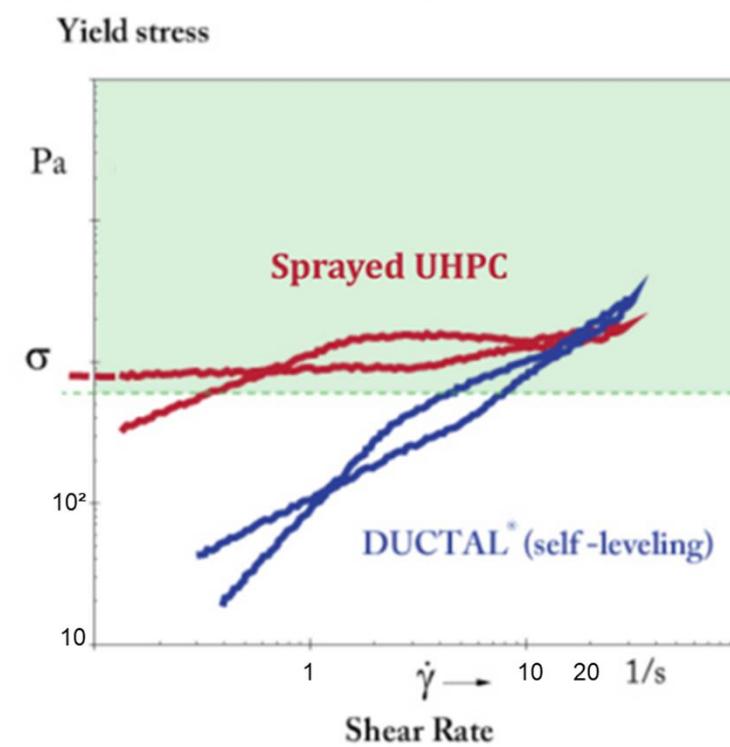
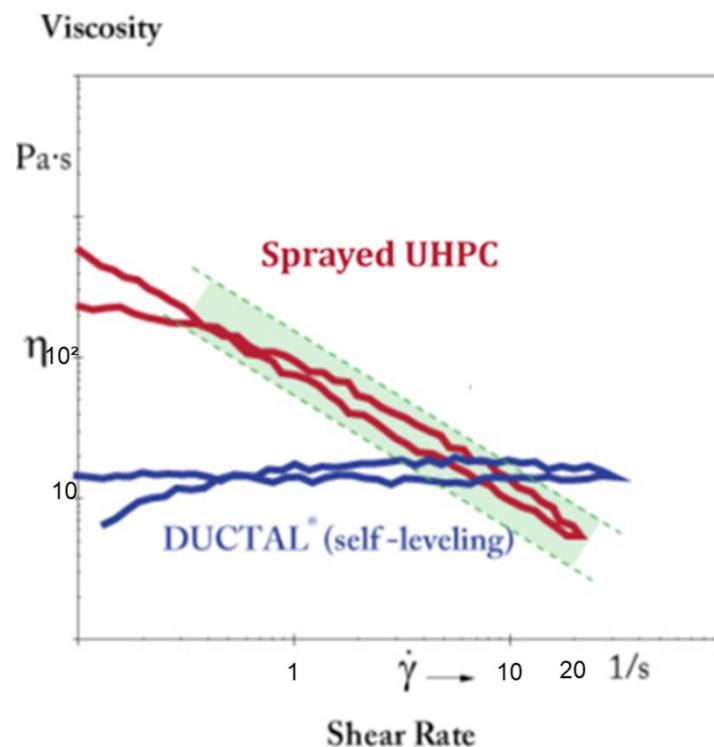
Formule

Equipements

- ✓ Conservation des fibres en qualité et quantité (2 à 3.25% en volume) (soit 160-250 kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ Obtenir un compromis entre la viscosité et la contrainte de cisaillement

## 2 – Projeter un BFUP

### Modification de formule



## 2 – Projeter un BFUP



Formule

Equipements

- ✓ Malaxeur
- ✓ Outils de projection

## 2 – Projeter un BFUP

Adaptation des équipements : le malaxeur



Malaxeur planétaire à moteur hydraulique



Vérification de la contrainte de cisaillement au scissomètre 8

## 2 – Projeter un BFUP

Adaptation des équipements : outils de projection

### Adaptations

- ✓ accessoires hydrauliques
- ✓ tuyaux flexibles avec raccords sertis
- ✓ buse de projection
- ✓ Compresseur puissant



## 2 – Projeter un BFUP



## 3 – Caractéristiques du BFUP projeté

Propriétés mécaniques à 28 jours	
Résistance caractéristique à la compression $f_{ck}$ <i>(Classe de résistance à la compression)</i>	130 Mpa <i>(BFUP 130/145)</i>
Valeur caractéristique de la limite d'élasticité en traction $f_{ctk,el}$	6,0 MPa
Classe de comportement en traction	T1
Valeur caractéristique de la résistance post-fissuration $f_{ctfk}$	6,0 MPa
Valeur moyenne de la résistance post-fissuration	6,5 MPa
Valeur moyenne du module d'Young	40 GPa

Derniers essais  $180 < f_{ck} < 200$  MPa

## 4 – Chantier expérimental



Présence de corrosion sans déformation excessive  
Plusieurs centaines d'ouvrage de ce type à réparer

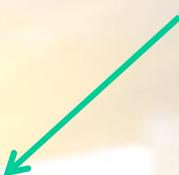
## 5 – Méthodes de calculs

Le BFUP n'est pas couvert par les eurocodes.

NF P 18-470 norme de produit applicable au BFUP **coulée**.

NF P 18-710 norme de conception applicable au calcul des structures en BFUP (**FM et  $f_{ck} > 150 \text{ MPa}$** )

→ essais expérimentaux pour valider l'application de la norme



12 corps d'épreuve  
Coffrage ondulé

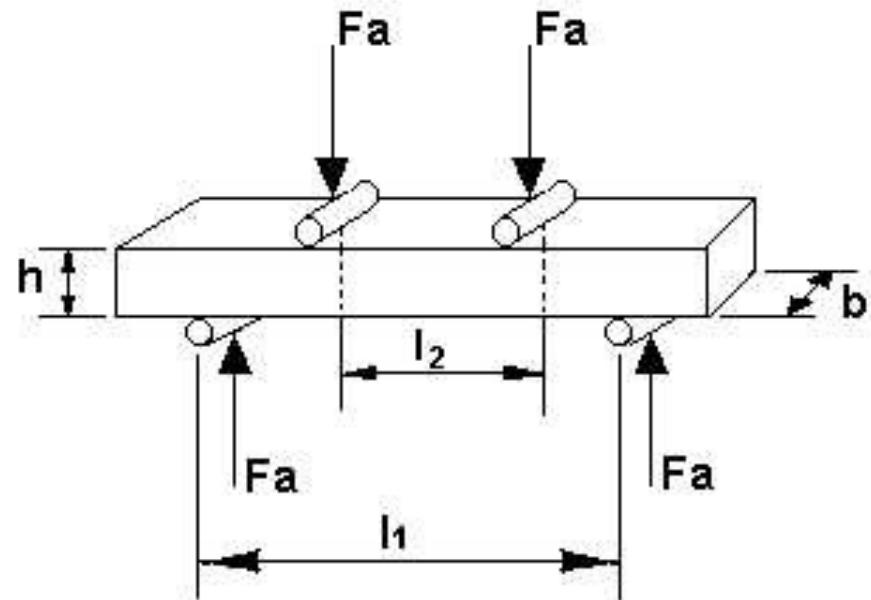
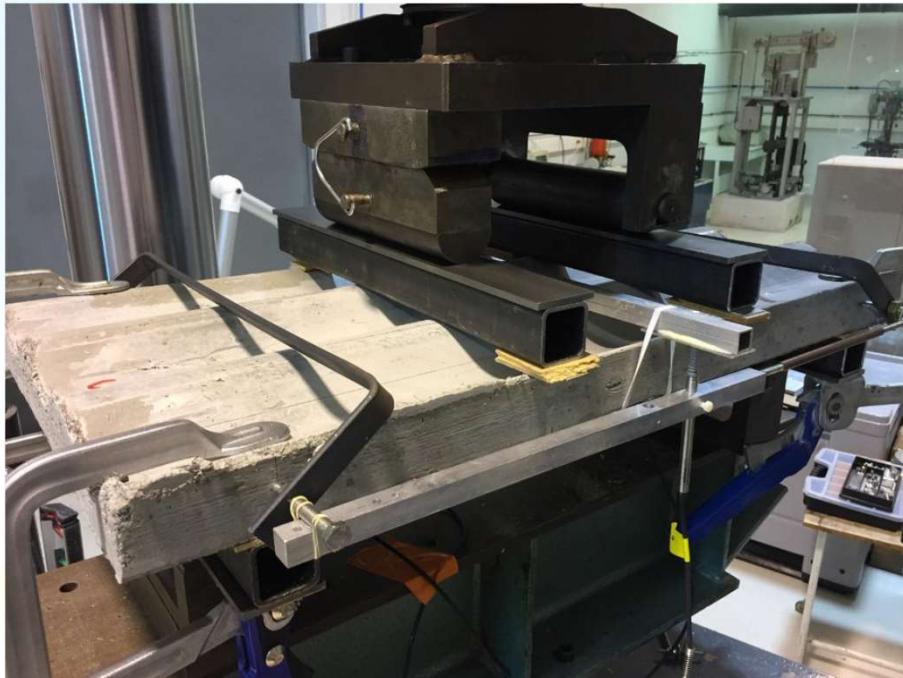


1 essai élément témoin  
Buse métallique échelle 1

## 6 – Essais sur prismes ondulées



## 6 – Essais sur prismes ondulées



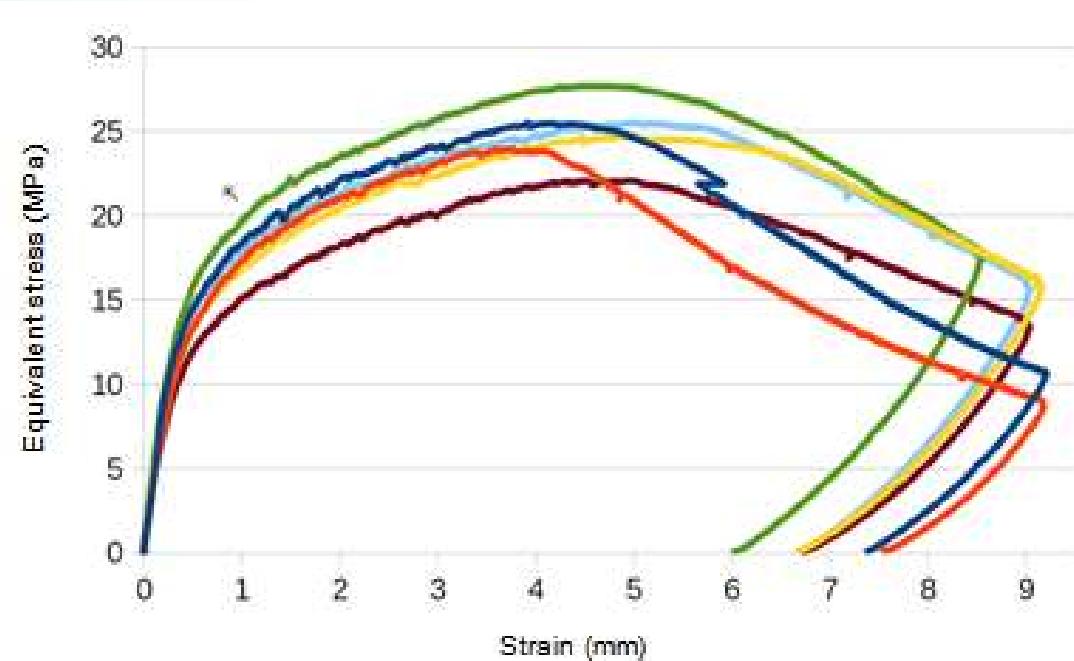
6 essais ondes en face supérieure

6 essais ondes en face inférieure

$$h = 10\text{cm}$$
$$b = 38\text{ cm}$$

$$l_1 = 60\text{cm}$$
$$l_2 = 20\text{cm}$$

## 6 – Essais sur prismes ondulées

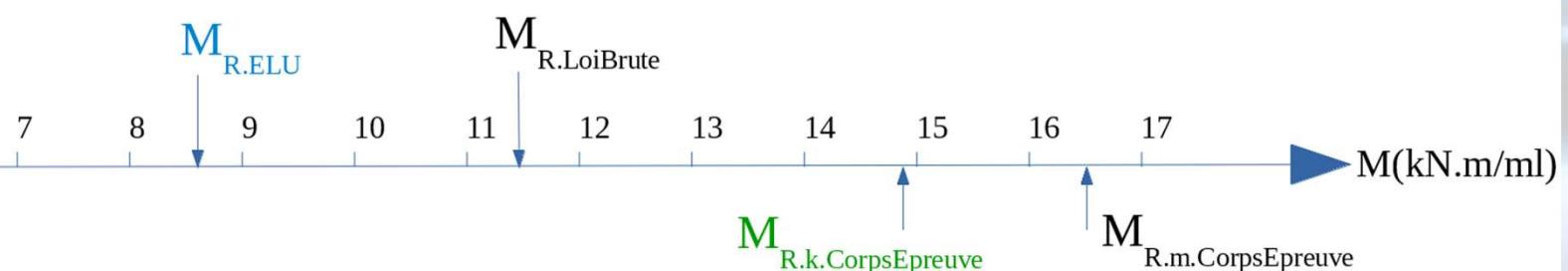


Coef. sécurité > 1.7  
*(Valeurs exp. k /  
 Calculs ELU)*



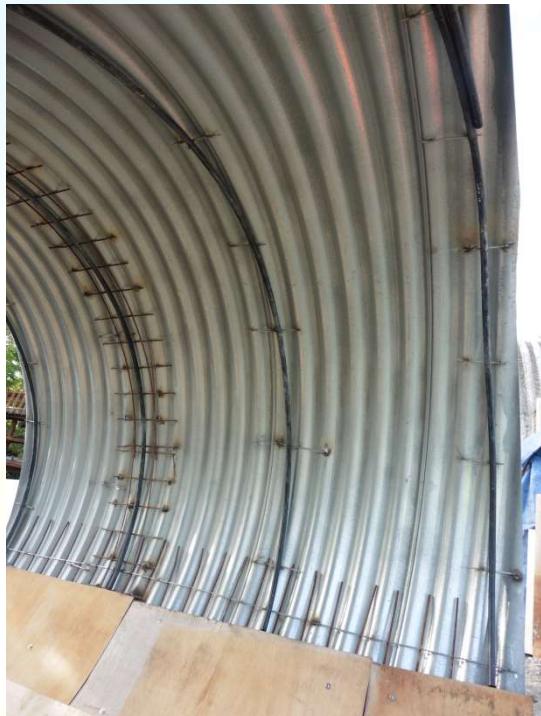
Représentation des différents moments résistants pour un plaque ondulée (ondes vers le haut)

Ajuster les lignes du tableau

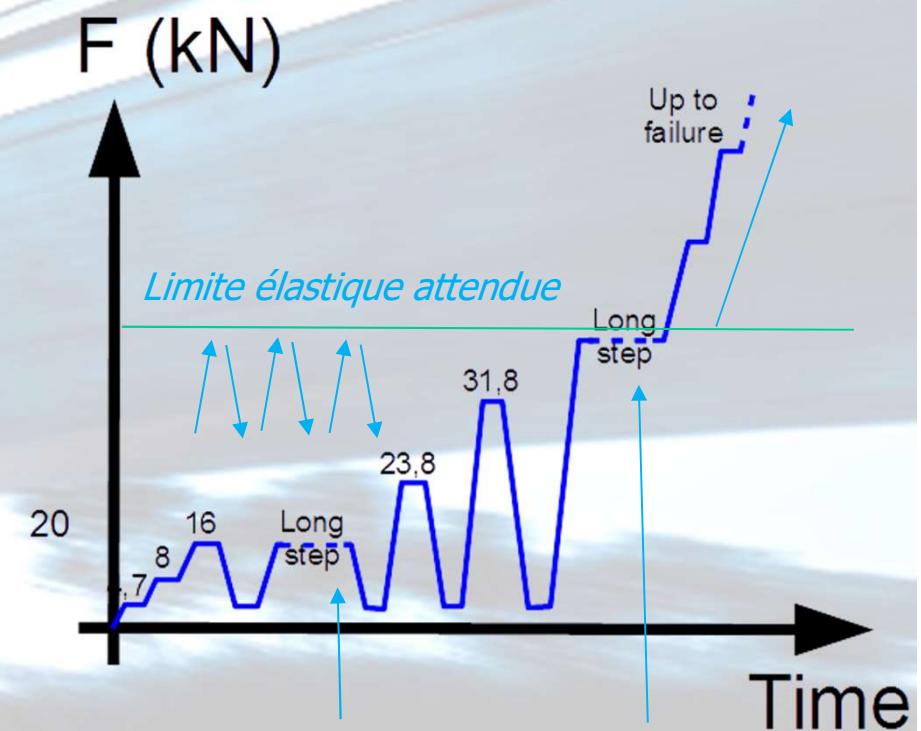


## 7 – Elément témoin 1:1

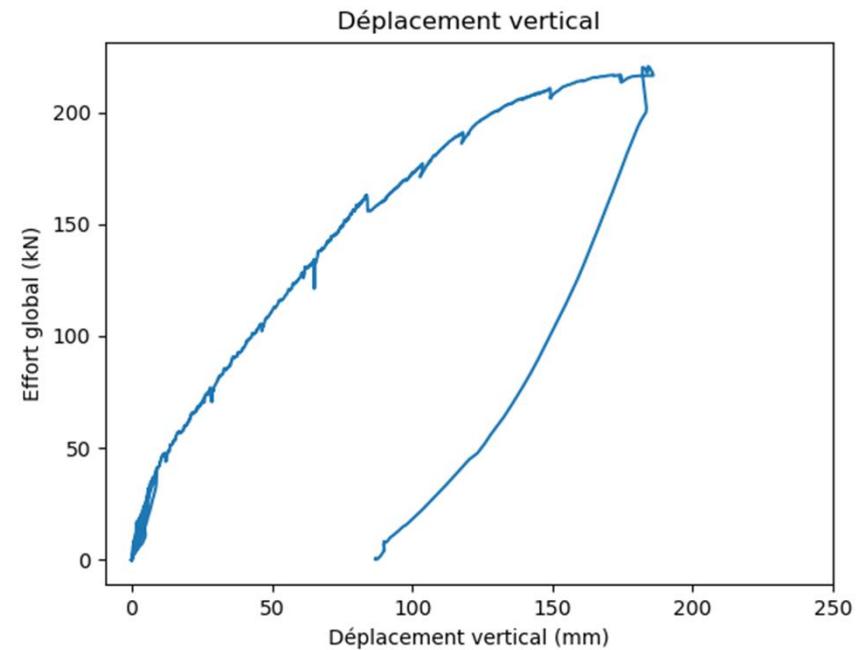
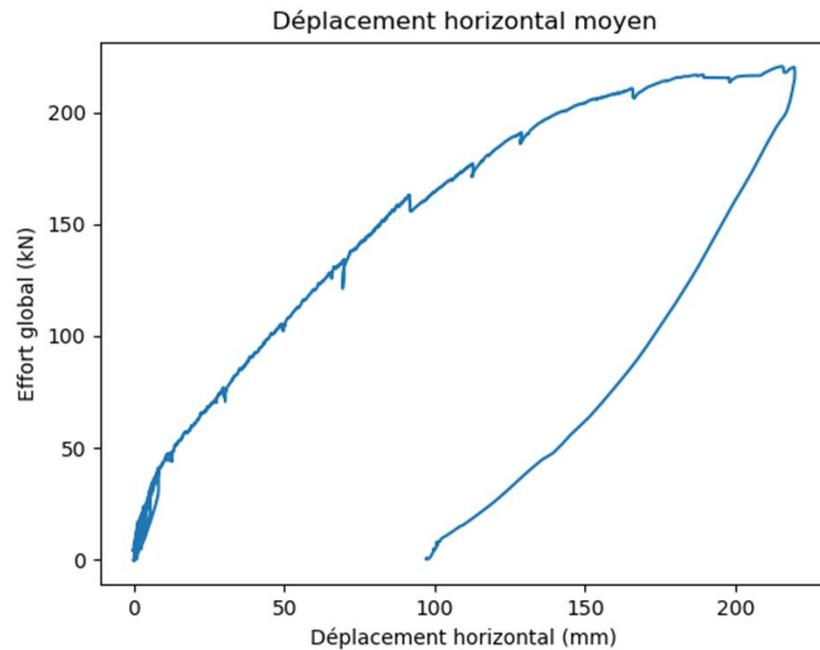
Projection sur élément témoin



## 7 – Elément témoin 1:1



## 7 – Elément témoin 1:1



Limite élastique, déplacements horizontaux & verticaux,  
et charges maximum conformes aux valeurs  
déterminées par un calcul simplifié

## 7 – Elément témoin 1:1



Avant chargement...

Après...  
(charge de ruine > 200 kN) 20

## 8 – Pourquoi projeter le BFUP

- Réparer, renforcer et étancher des structures
- Protection face à des environnements agressifs  
(barrages, ports, réservoirs, piles)



Piédroits



Chevêtre



Pile soumise à la marée



Fuites d'eau d'un réservoir 21

# Merci de votre participation



## BONUS

- 1 CETU, Bron, France, [catherine.larive@developpement-durable.gouv.fr](mailto:catherine.larive@developpement-durable.gouv.fr)
- 2 CETU, Bron, France, [sebastien.bouteille@developpement-durable.gouv.fr](mailto:sebastien.bouteille@developpement-durable.gouv.fr)
- 3 CETU, Bron, France, [david.chamoley@developpement-durable.gouv.fr](mailto:david.chamoley@developpement-durable.gouv.fr)
- 4 Freyssinet, Rueil-Malmaison, France, [bertrand.petit@freyssinet.com](mailto:bertrand.petit@freyssinet.com)
- 5 Freyssinet, Rueil-Malmaison, France, [alain.huynh@freyssinet.com](mailto:alain.huynh@freyssinet.com)
- 6 Freyssinet, Rueil-Malmaison, France, [francois.teply@freyssinet.com](mailto:francois.teply@freyssinet.com)
- 7 Ductal® - LafargeHolcim, Paris, France, [sebastien.bernardi@lafargeholcim.com](mailto:sebastien.bernardi@lafargeholcim.com)
- 8 LafargeHolcim R&D Center, St Quentin Fallavier, France, [laurence.trucy@lafargeholcim.com](mailto:laurence.trucy@lafargeholcim.com)
- 9 Ductal® - LafargeHolcim, Paris, France, [julien.derimay@lafargeholcim.com](mailto:julien.derimay@lafargeholcim.com)
- 10 IFSTTAR, Champs-sur-Marne, France, [pierre.marchand@ifsttar.fr](mailto:pierre.marchand@ifsttar.fr)