

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 – Élément 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^{ème} challenge : projection sans activateur

2 – Projeter un BFUP



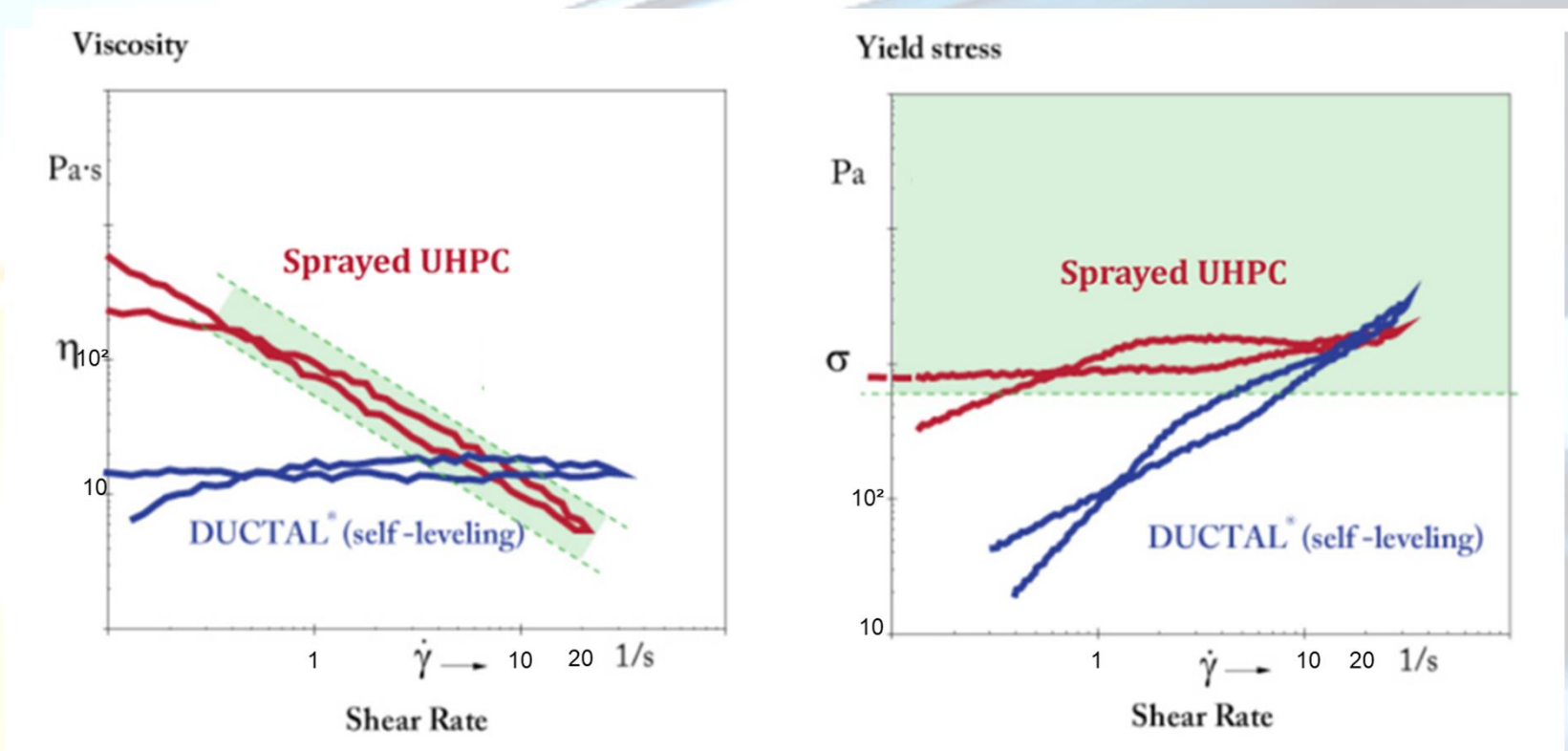
Formule

- ✓ Conservation des fibres en qualité et quantité (2 à 3.25% en volume)
(soit 160-250 kg/m³)
- ✓ Obtenir un compromis entre la viscosité et la contrainte de cisaillement

Equipements

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

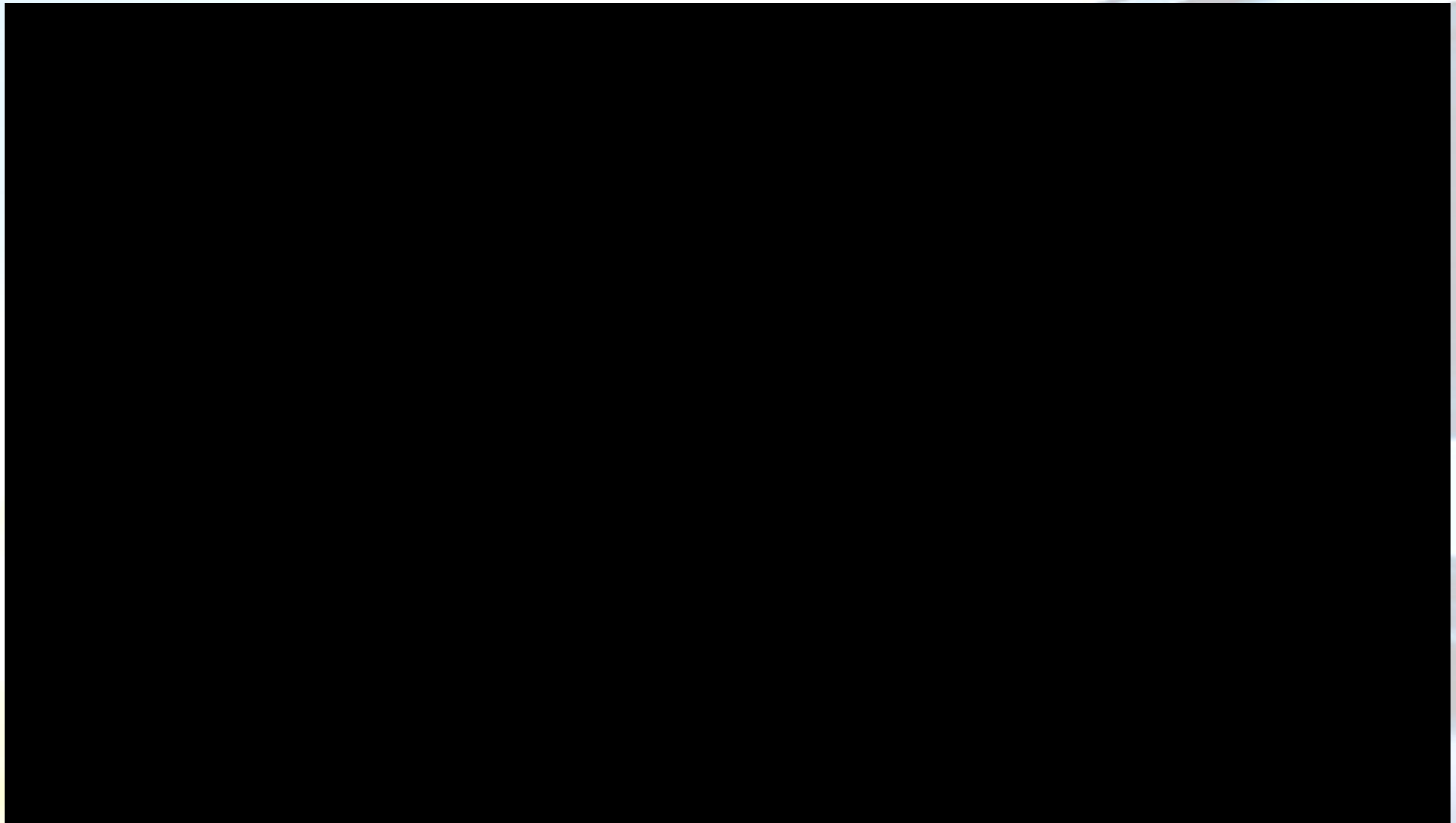
Adaptation des équipements : outils de projection

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} (Classe de résistance à la compression)	130 Mpa (BFUP 130/145)
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 $f_{ck} > 150$ MPa)

→ essais expérimentaux pour valider l'application de la norme



12 corps d'épreuve
Coffrage ondulé

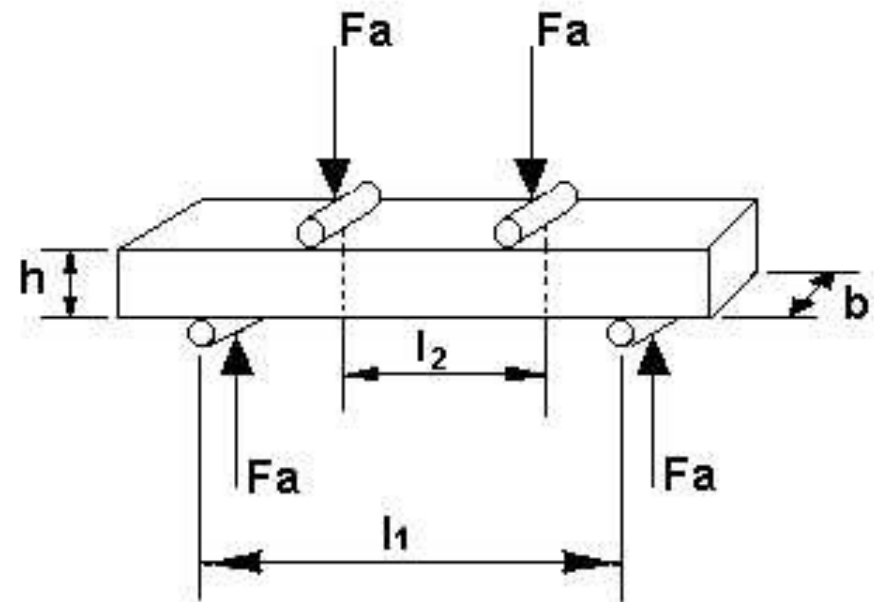
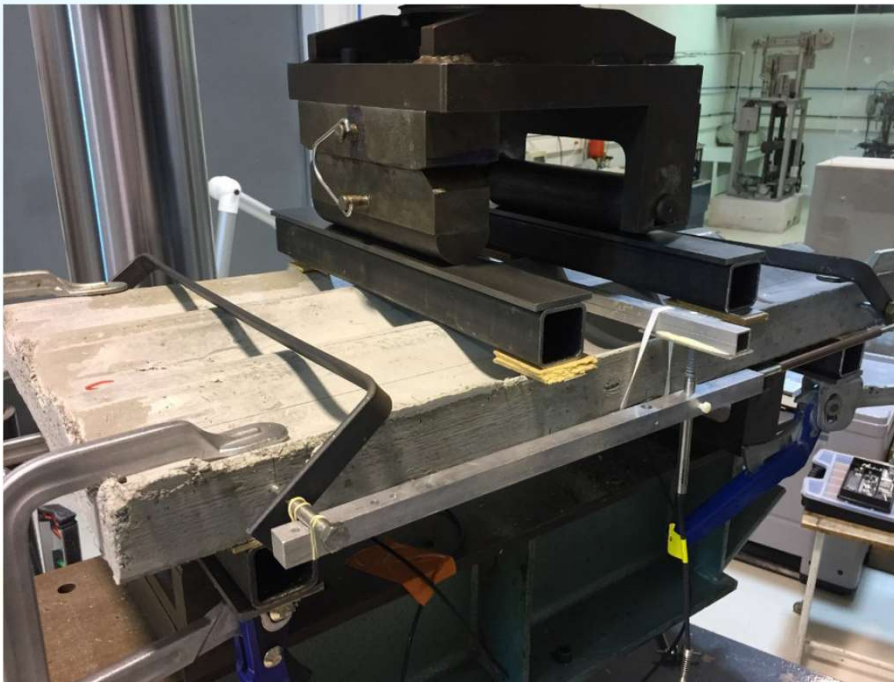


1 essai élément témoin
Buse métallique échelle 1

6 – Essais sur prismes ondulés



6 – Essais sur prismes ondulés

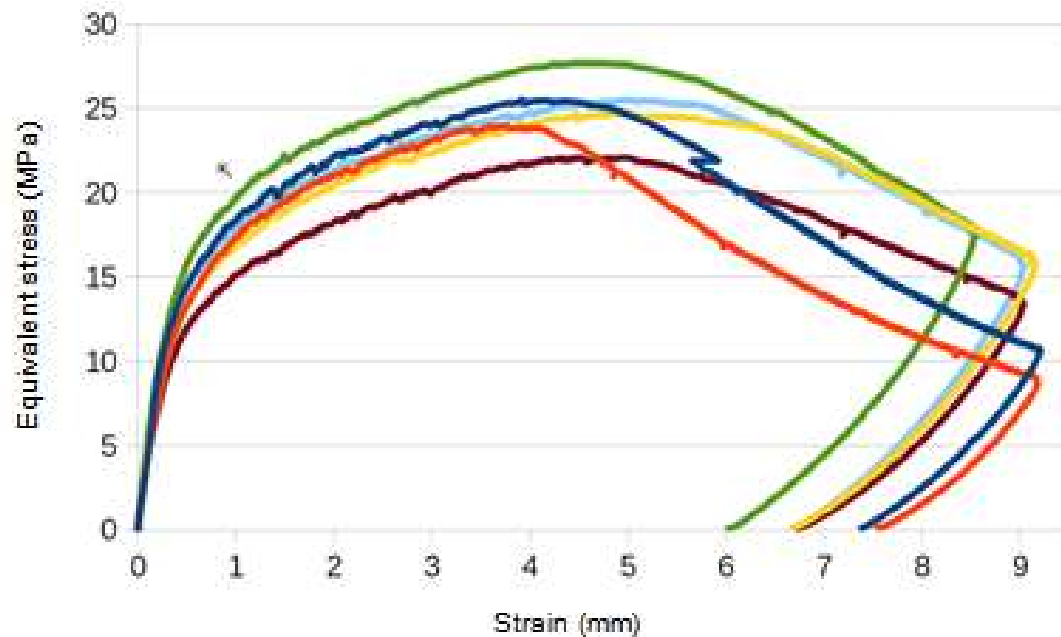


6 essais ondes en face supérieure
6 essais ondes en face inférieure

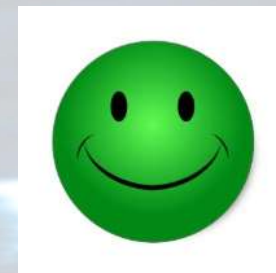
$h = 10\text{cm}$
 $b = 38\text{ cm}$

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

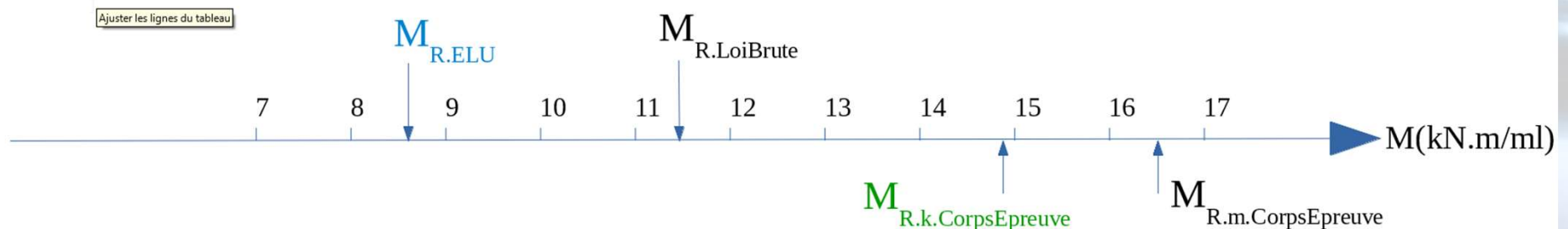
6 – Essais sur prismes ondulées



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



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

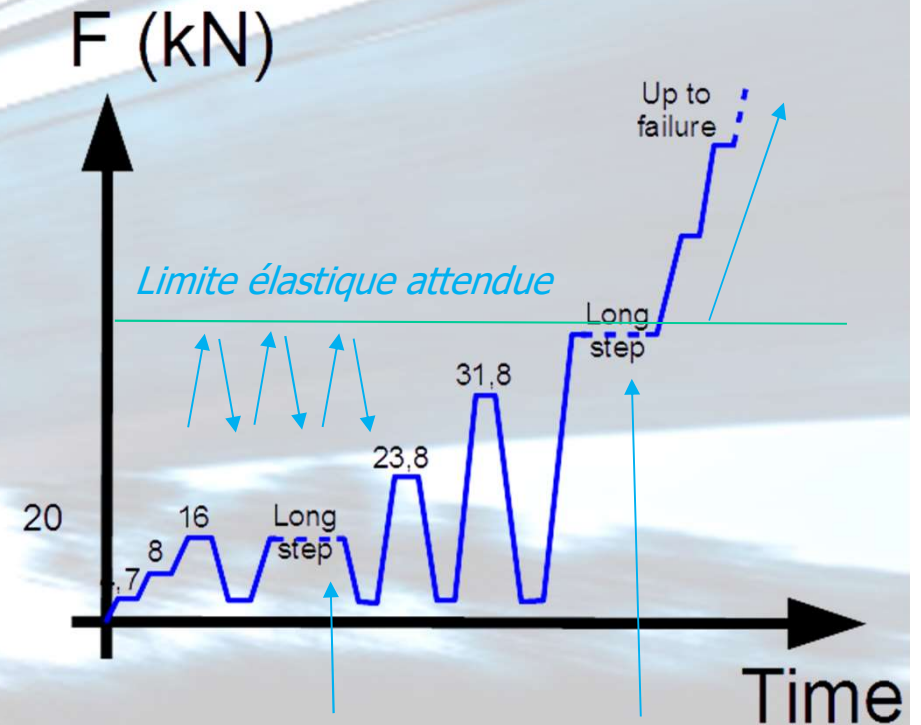


7 – Élément témoin 1:1

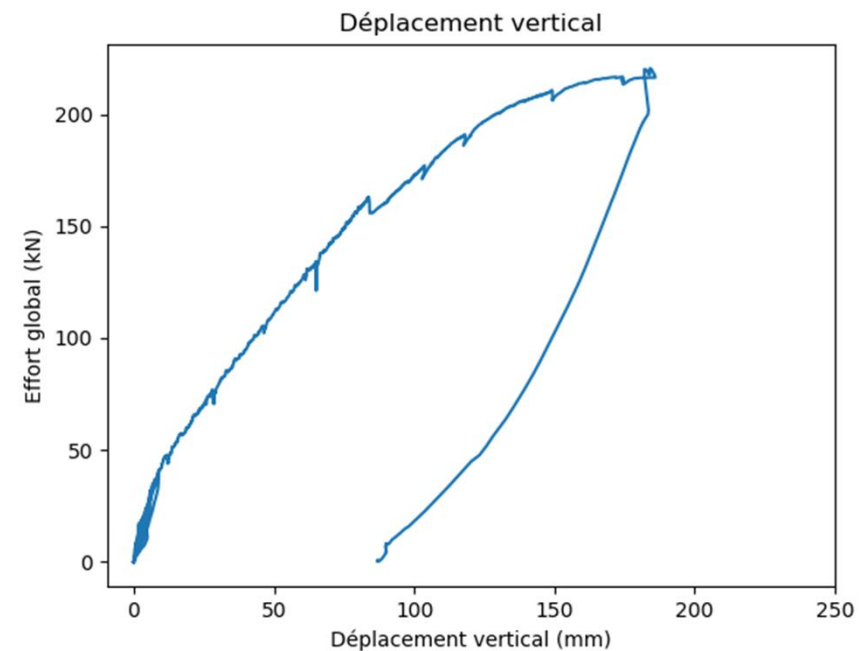
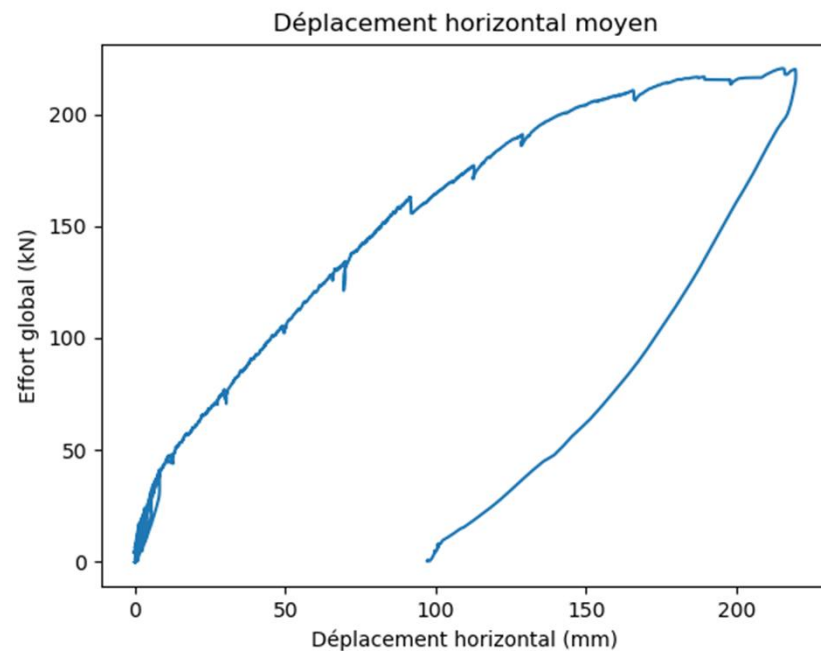
Projection sur élément témoin



7 – Élément témoin 1:1



7 – Élément témoin 1:1



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

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