

Réhabilitation et Renforcement de Piles de Pont avec du Béton Fibré à Ultra-Haute Performance

Renaud Franssen^{1,2}, Luc Courard², Boyan Mihaylov²

(1) FRIA (F.R.S.-F.N.R.S), Fond National pour la Recherche Scientifique, Bruxelles, Belgique

(2) Département ArGEEnCo, Unité de recherche en Urban and Environmental Engineering, Université de Liège, Allée de la Découverte 9, Liège (4000), Belgique

En collaboration avec le Service Public de Wallonie

Équipe



► Urban and Environmental Engineering

- Structural concrete (Prof. Mihaylov)
- Maintenance and building materials (Prof. Courard)

Laboratoire de mécanique des matériaux & structures



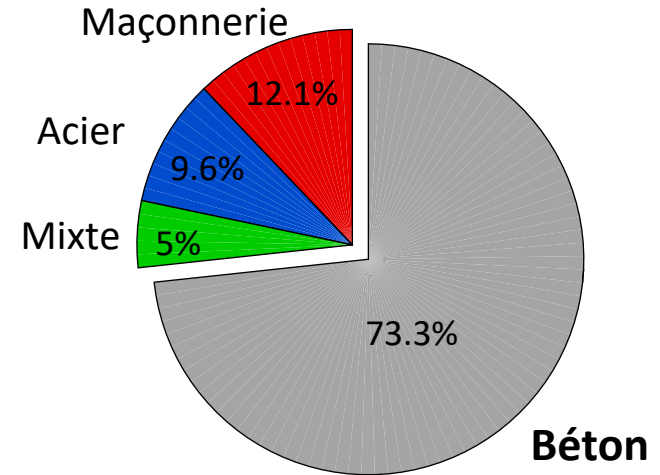
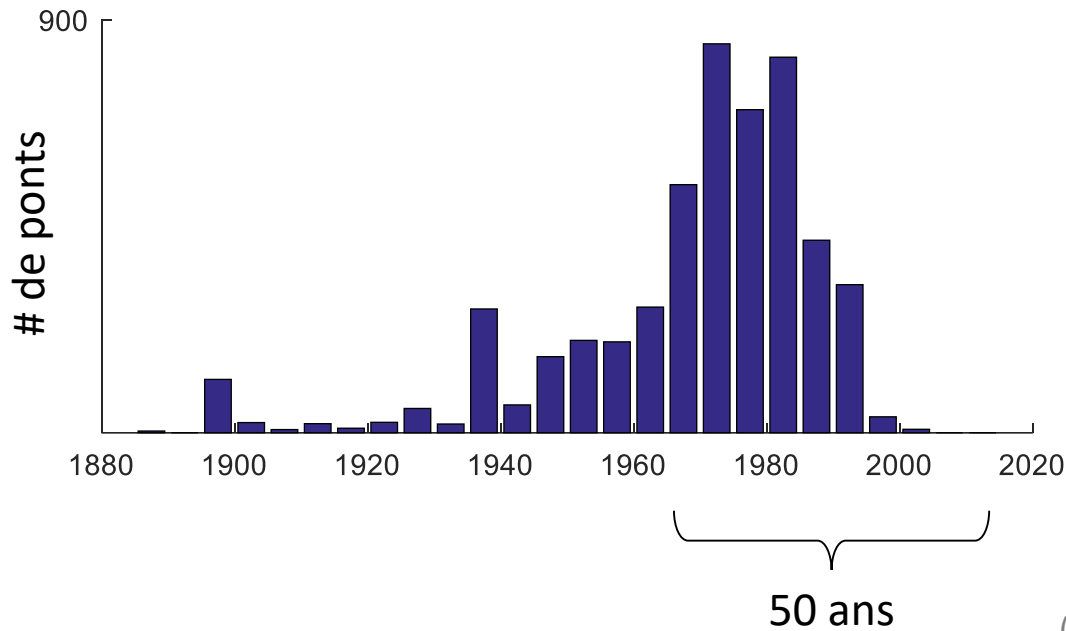
Laboratoire des matériaux de construction



Vieillesse des ponts en Wallonie



Construction de ponts

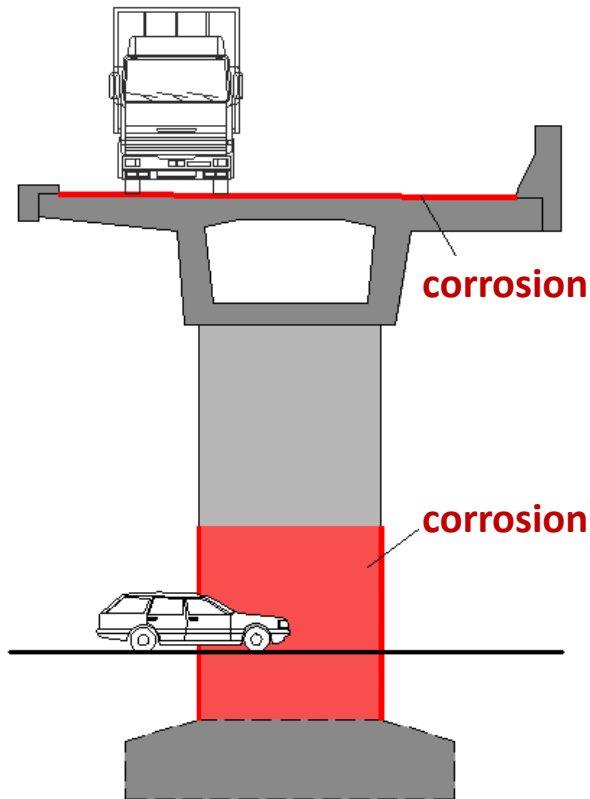


(SPW 2005)

- ~13% (~700 ponts) en état avancé de dégradation nécessitant une réparation immédiate
- Un grand nombre des ponts atteindront bientôt un âge critique (> 50 ans)

→ **Besoin urgent de solutions de réhabilitation innovantes et durables**

Zones vulnérables dans les ponts en béton



(Adapté de Brühwiler 2016)

Zones les plus exposées à l'eau, aux sels de déverglaçage, aux chlorures :

- Tablier de pont
- Joints dans la superstructure
- Zones inférieures des **piles de pont**

Principaux problèmes liés aux piles de pont en béton (1)



(photos SPW)

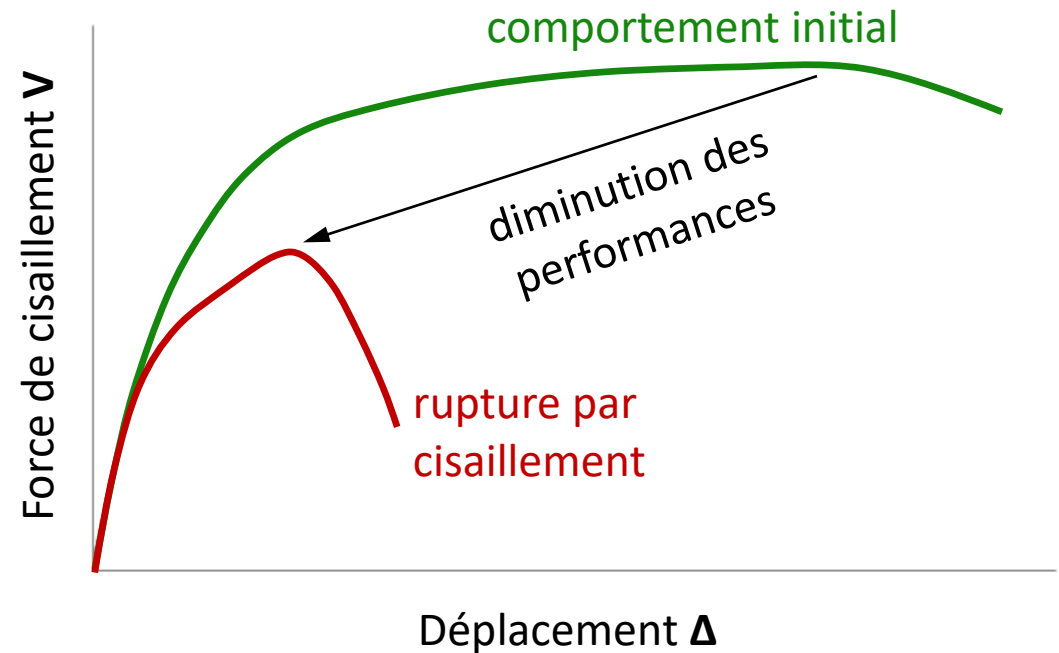
- Corrosion des armatures
- Perte du béton d'enrobage

Les méthodes de restauration actuelles ont une durabilité limitée
→ **Réparations fréquentes et chères (~ tous les 5 ans)**

Principaux problèmes liés aux piles de pont en béton (2)

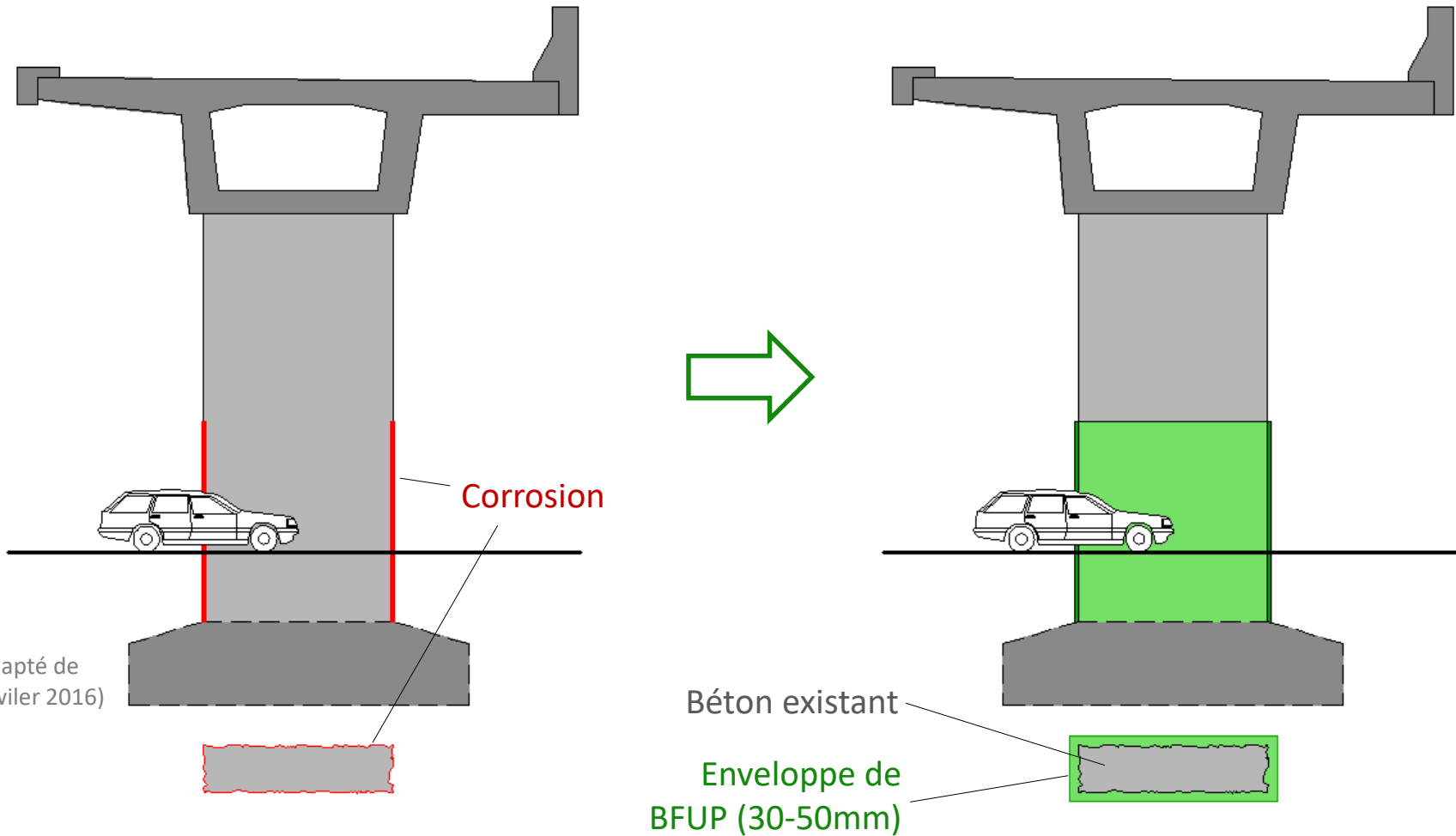


(Fardis 2008)



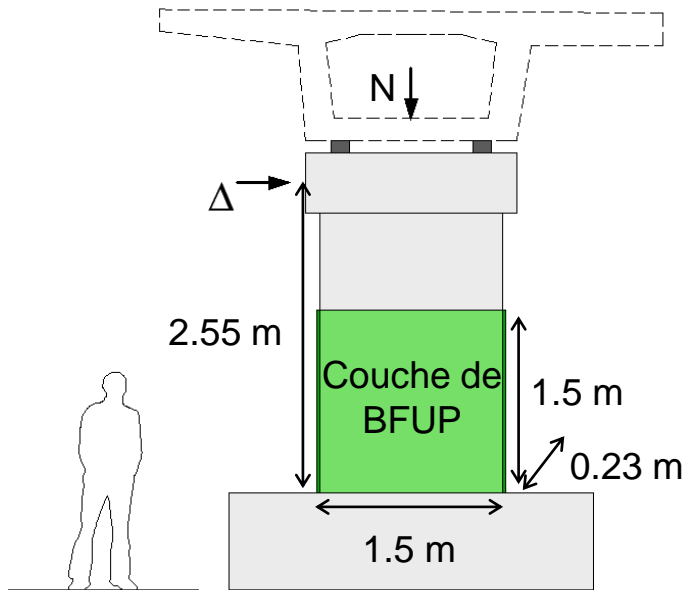
Résistance réduite → Vulnérabilité aux **ruptures fragiles par cisaillement**

Solution : Béton Fibré Ultra-Haute Performance (BFUP)



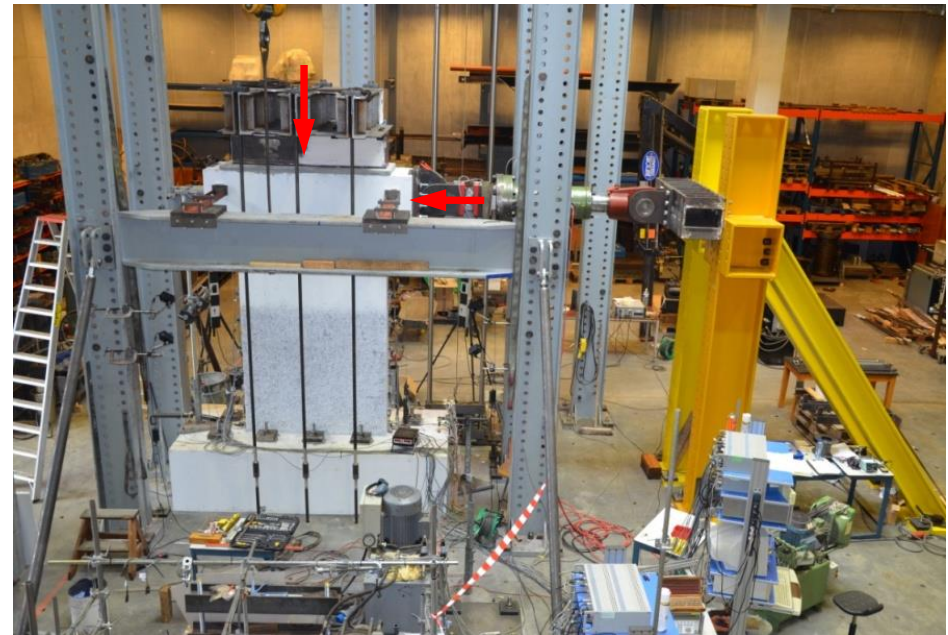
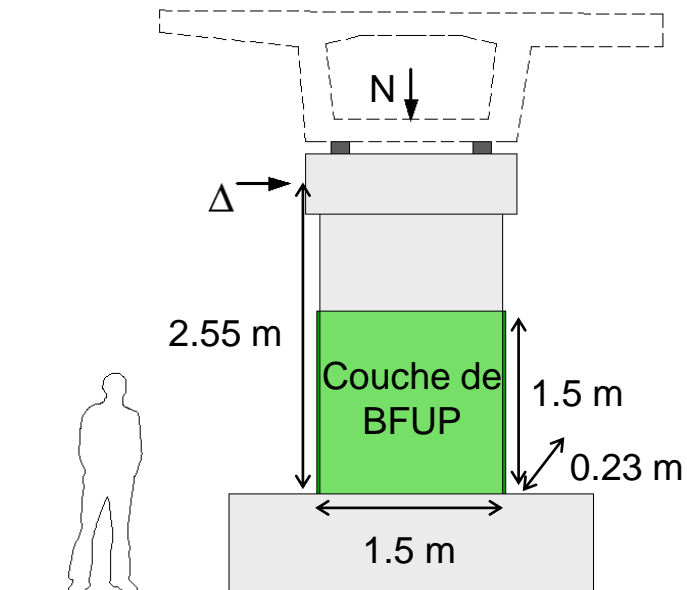
- Excellente **durabilité**
- Amélioration du contrôle des fissures, de la rigidité et de la **résistance** au cisaillement

Programme expérimental



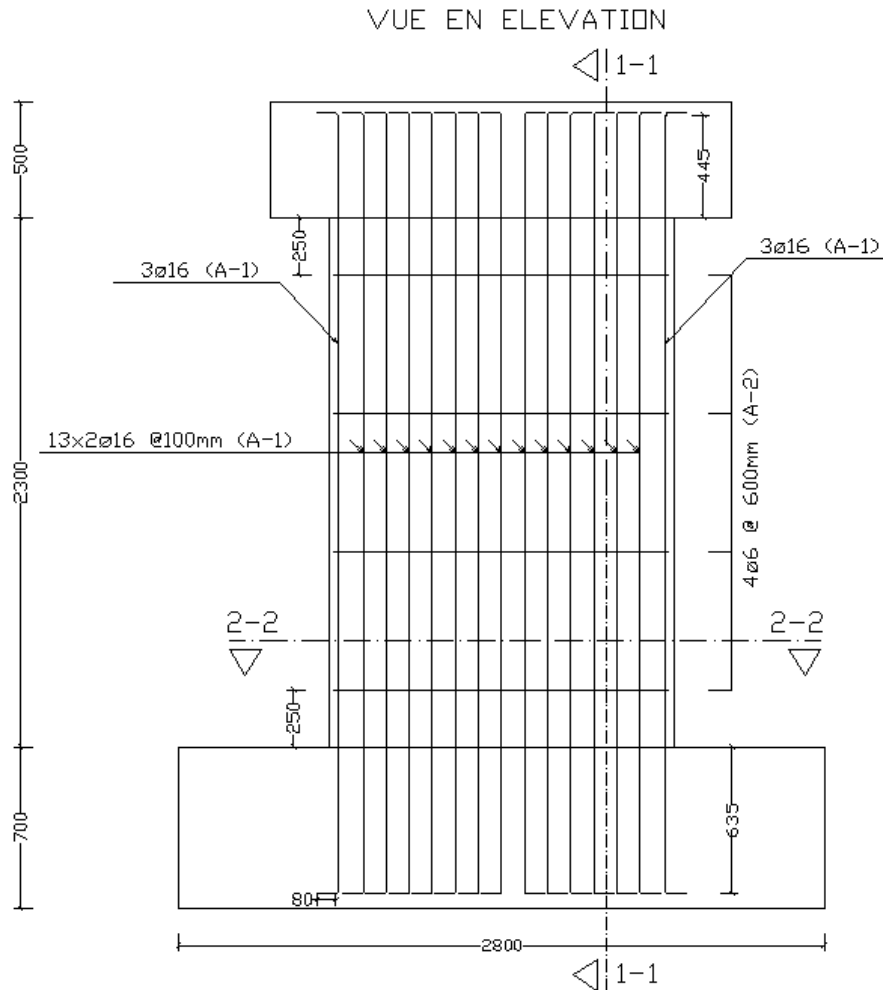


Programme expérimental



# murs	Épaisseur de BFUP (mm)	Préparation de surface	Charge verticale (kN)
1	0	/	1200
2	30	Lisse	1200
3	30	Hydro démolition	1200
4	50	Hydro démolition	2200

Béton armé



Renforcement longitudinal

- $\rho_l = 1.86\%$
- $f_y = 530 \text{ MPa}$
- $f_u = 620 \text{ MPa}$

Renforcement transversal

- $\rho_v = 0.07\%$
- $f_y = 540 \text{ MPa}$
- $f_u = 640 \text{ MPa}$

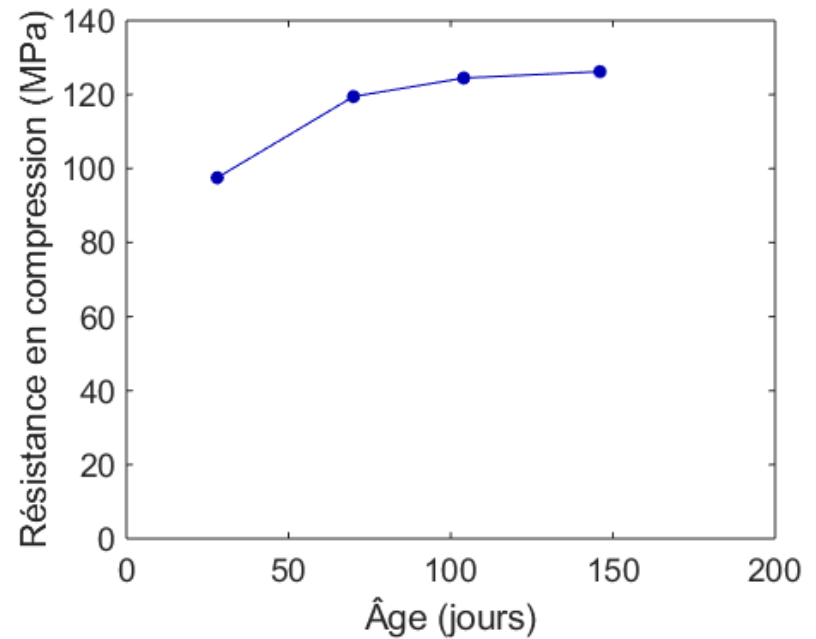
Béton

- $f'_c = 47\text{-}53 \text{ MPa}$

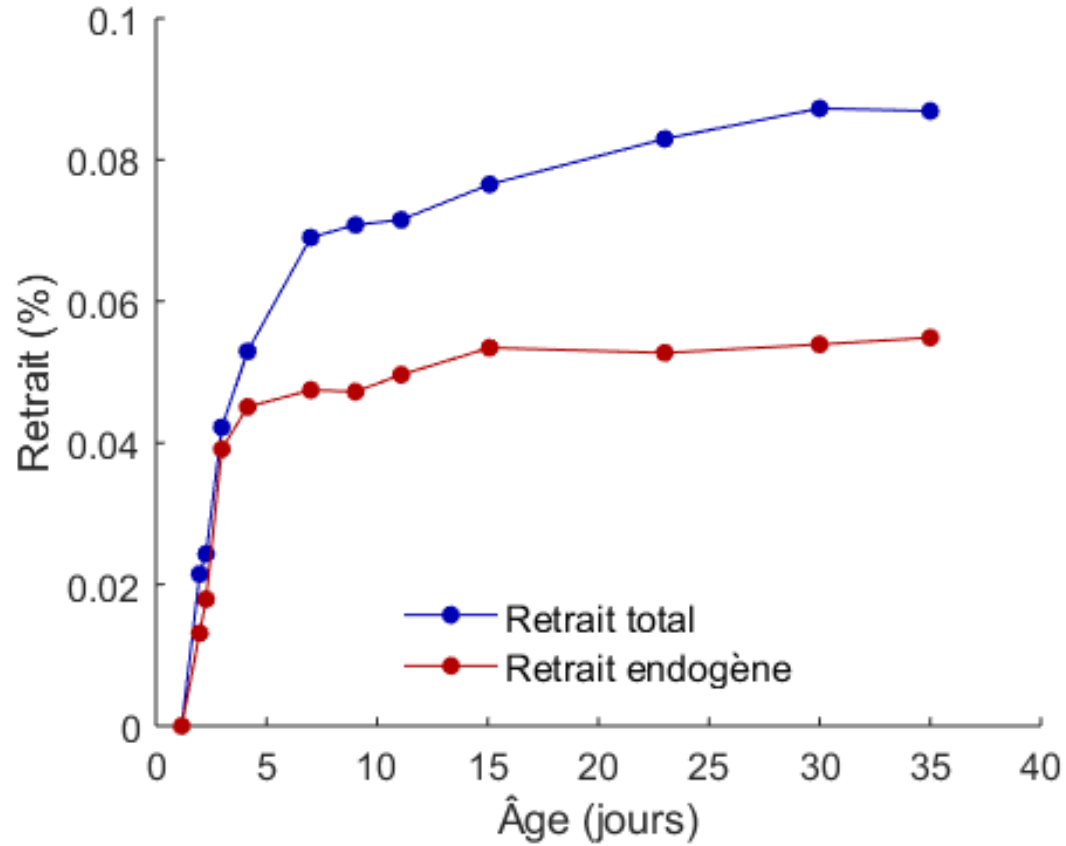
Béton Fibré Ultra-haute Performance (BFUP)



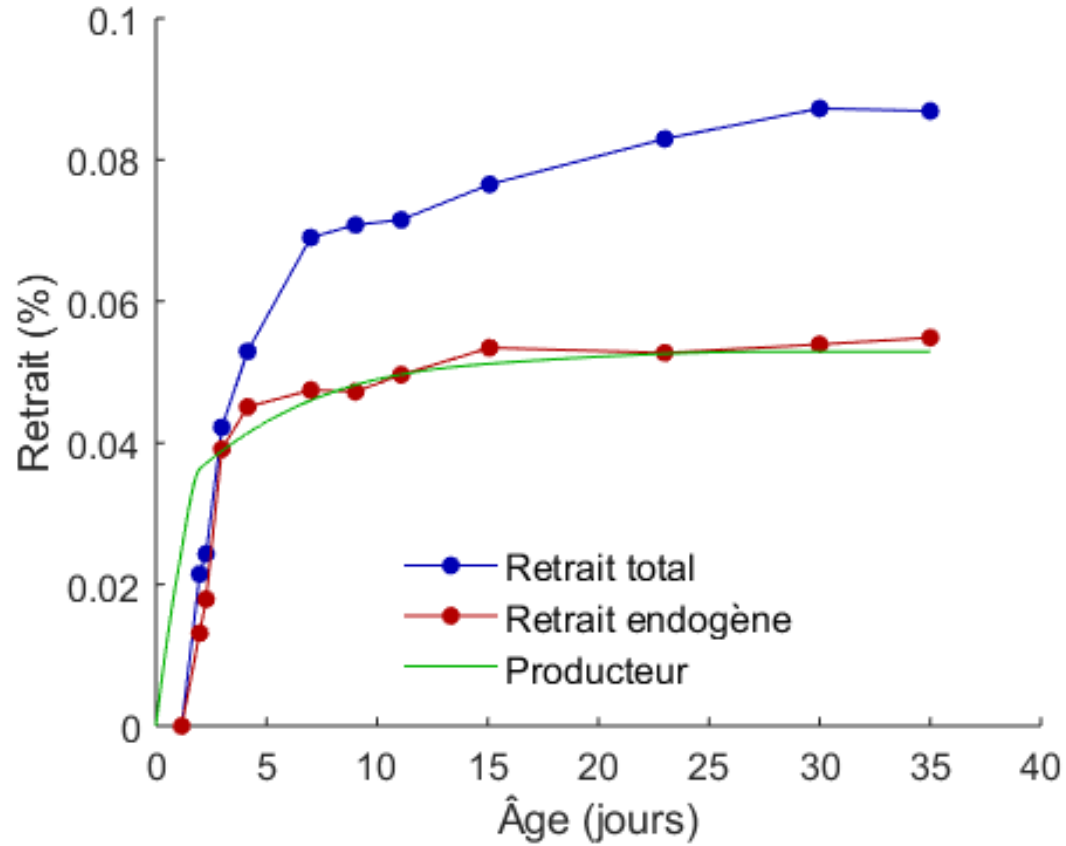
Fibres :
L = 17 mm
d = 0.2 mm
Vol. = 1.25%



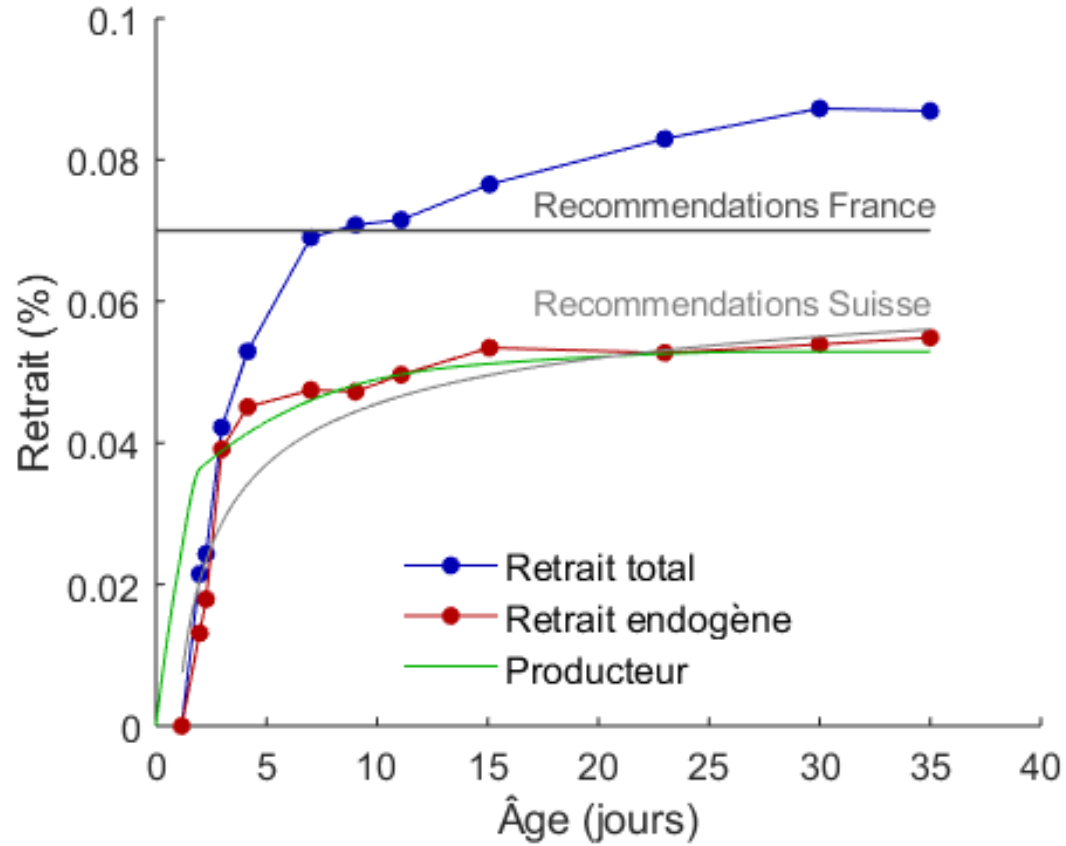
Retrait du BFUP



Retrait du BFUP



Retrait du BFUP



Réalisation des murs en béton armé



Hydro démolition

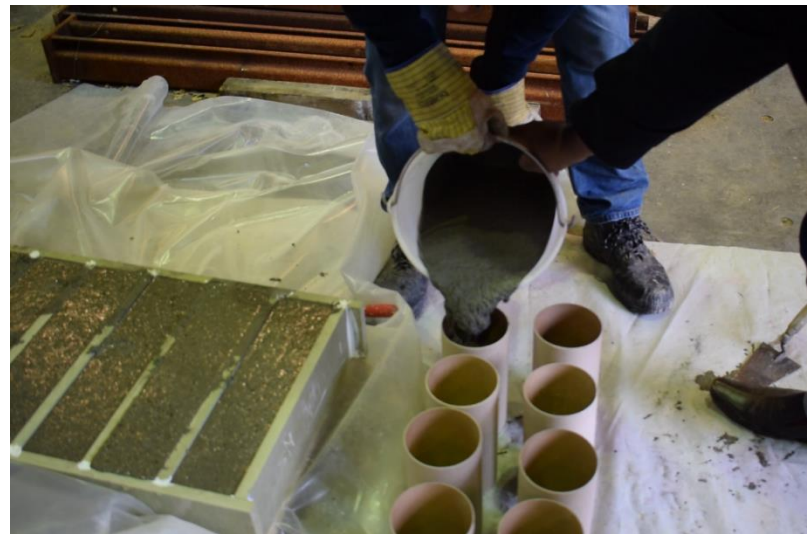


Épaisseur mesurée ~28 mm



~45-50 mm

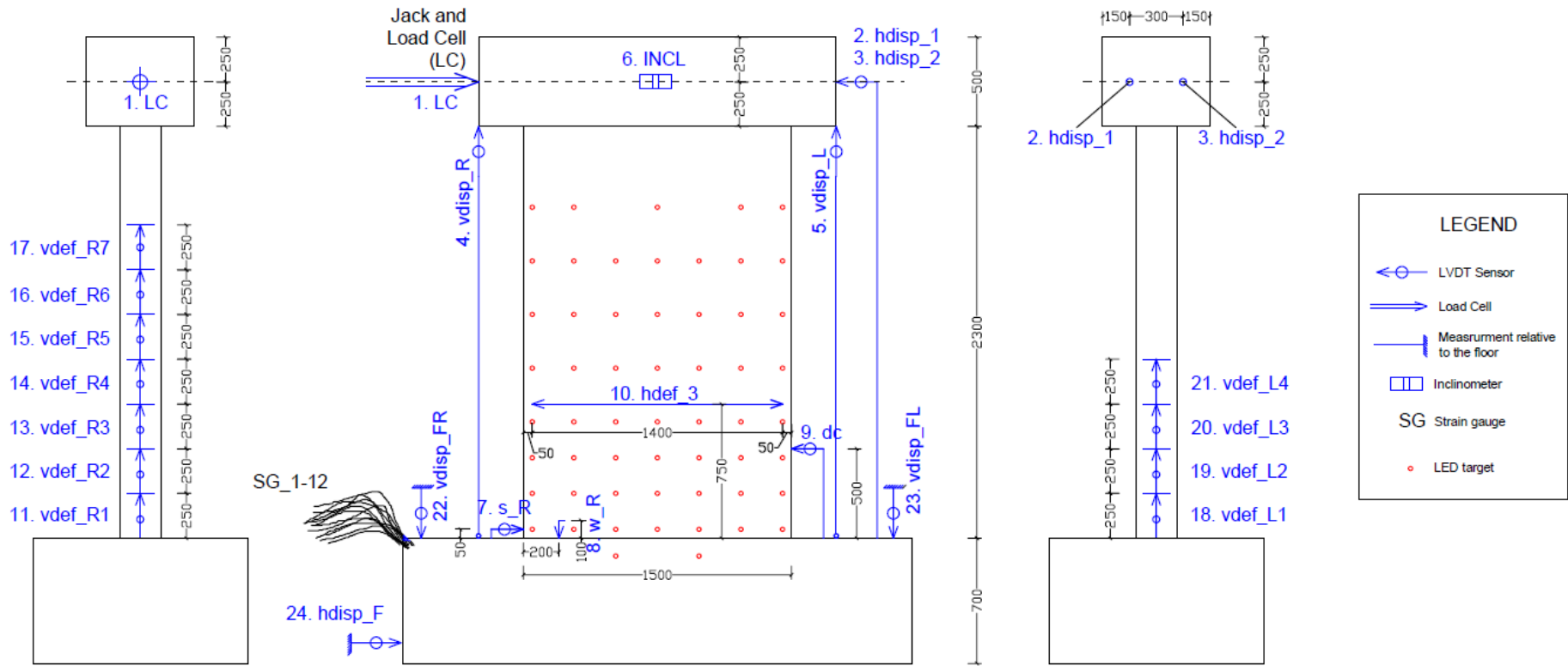
Mise en place du BFUP



Montage expérimental



Instrumentation : Capteurs de déplacement



LEGEND	
	LVDT Sensor
	Load Cell
	Measurement relative to the floor
	Inclinometer
	SG Strain gauge
	LED target

Instrumentation : Scanner LED



Instrumentation : Corrélation d'Image Digitale (CID)



Comportement du mur en béton armé (référence)



MAX : $V = 1040 \text{ kN}$

$\Delta = 21 \text{ mm}$

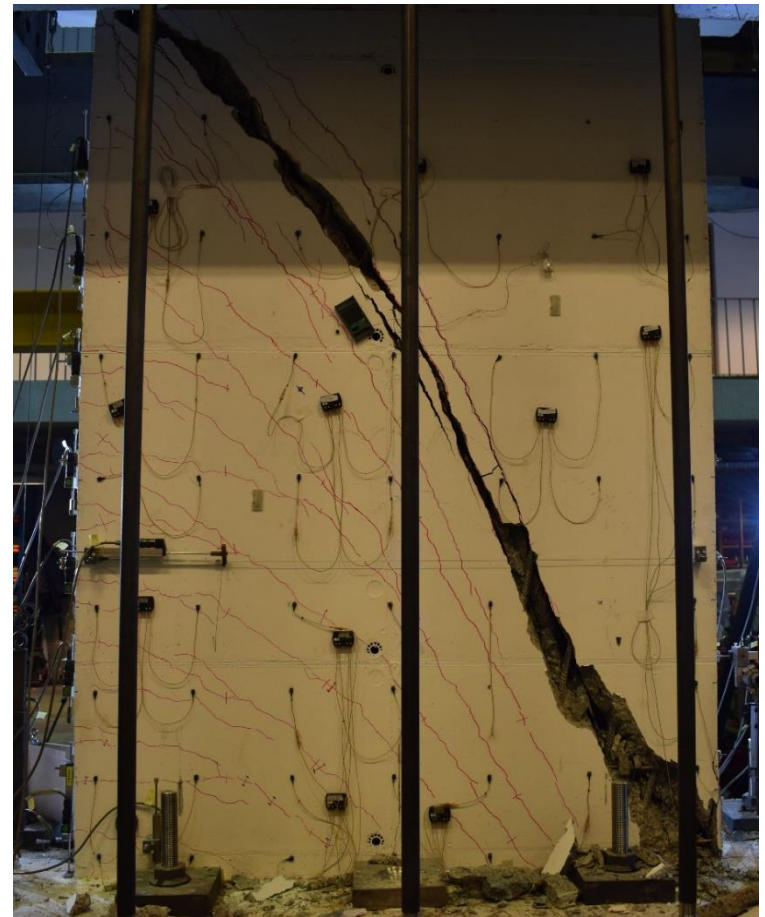
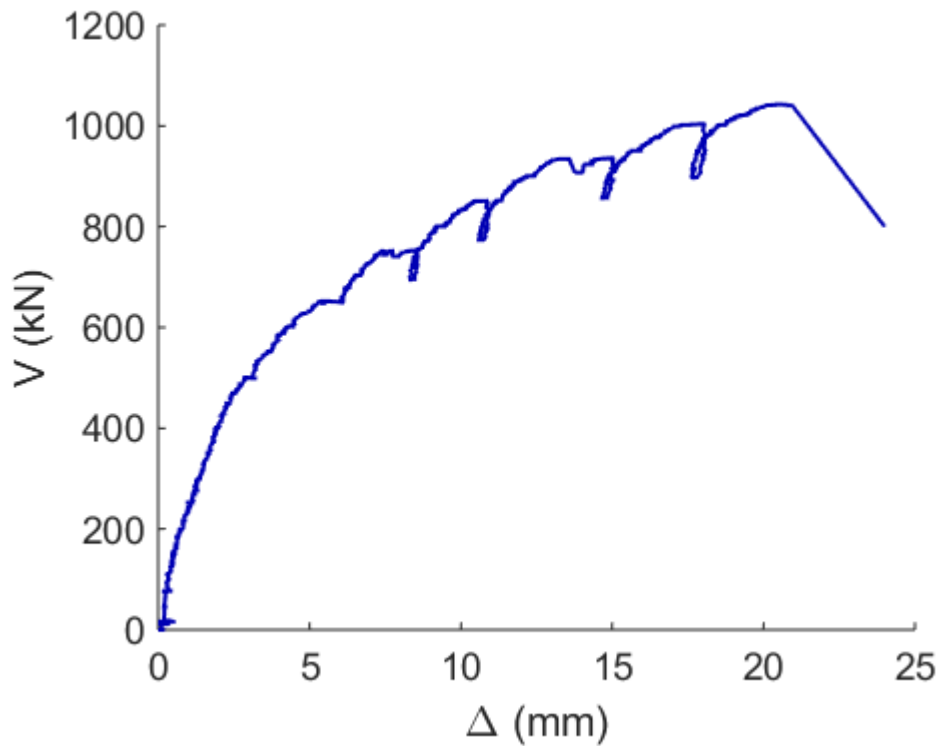
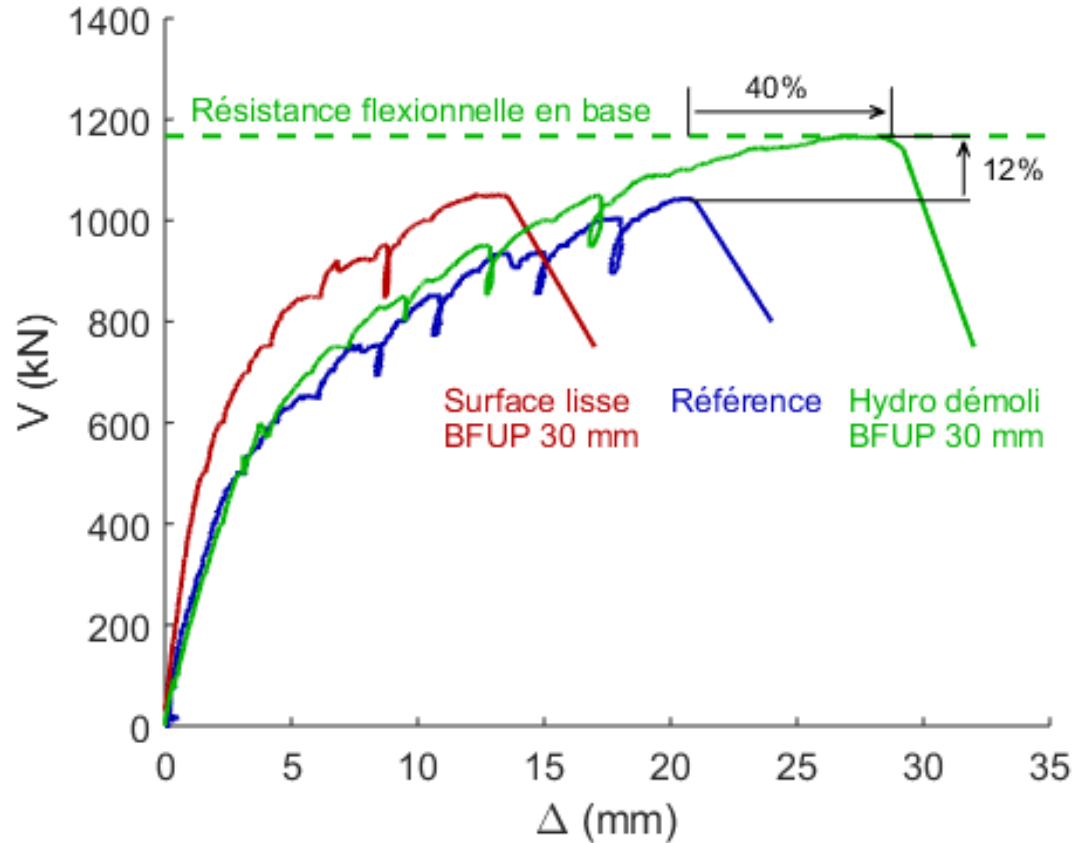
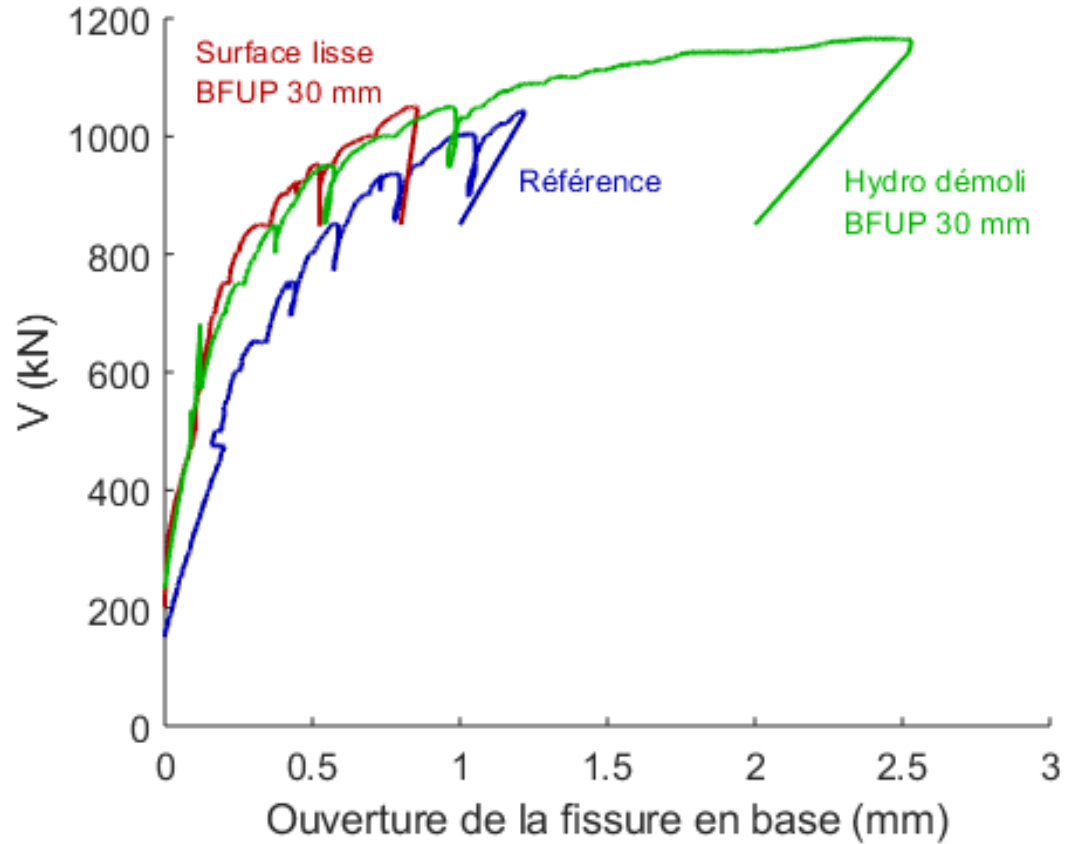


photo après rupture

Effet d'une couche de 30 mm et de la préparation de surface (1)



Effet d'une couche de 30 mm et de la préparation de surface (2)



Rupture du mur sans préparation de surface – BFUP 30 mm

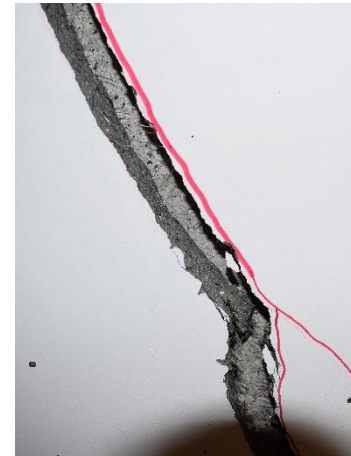


MAX : $V = 1050 \text{ kN}$

$\Delta = 13.5 \text{ mm}$



perte d'adhérence





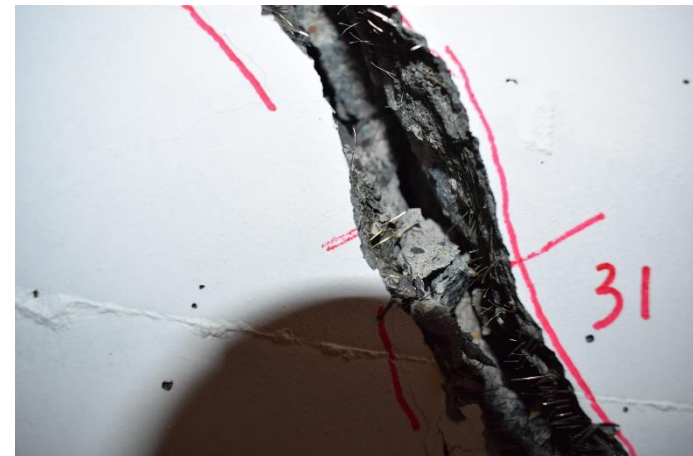
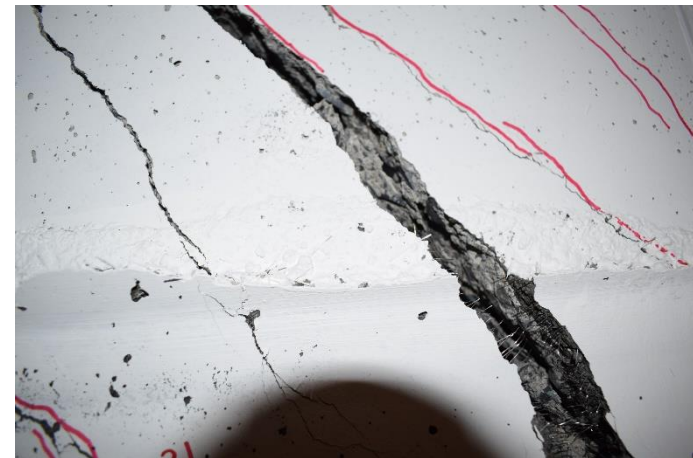
Rupture du mur hydro démoli – BFUP 30 mm

MAX : $V = 1165 \text{ kN}$

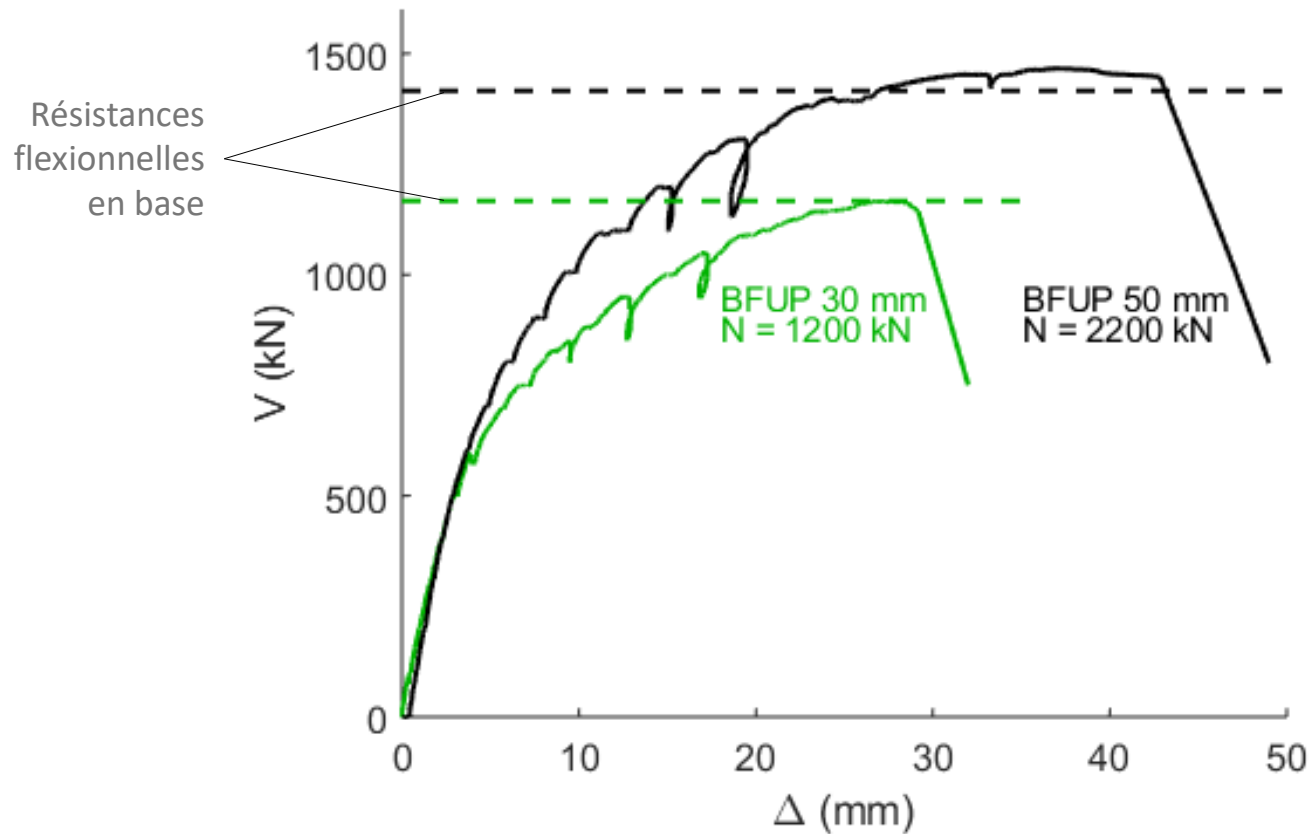
$\Delta = 29 \text{ mm}$



pas de perte d'adhérence



Effet de l'épaisseur du chemisage et de la charge verticale





Rupture du mur hydro démoli – BFUP 50 mm

MAX : $V = 1465 \text{ kN}$

$\Delta = 43 \text{ mm}$



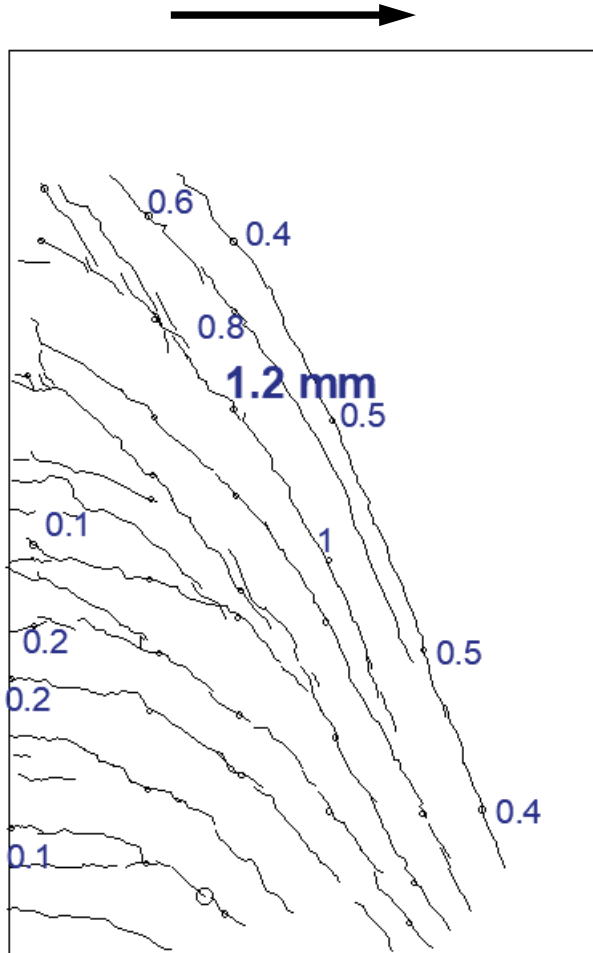
pas de perte d'adhérence



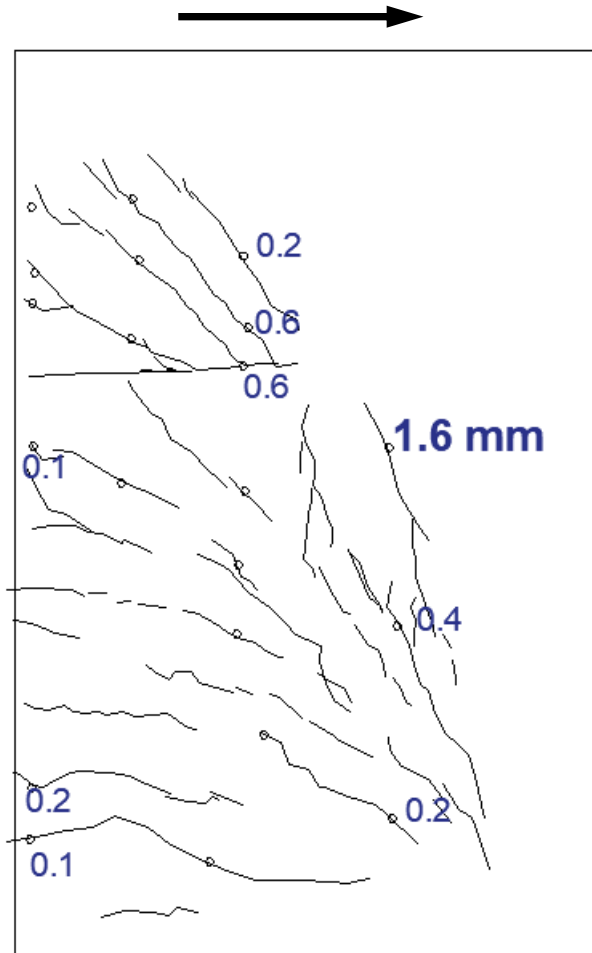
Contrôle de la fissuration



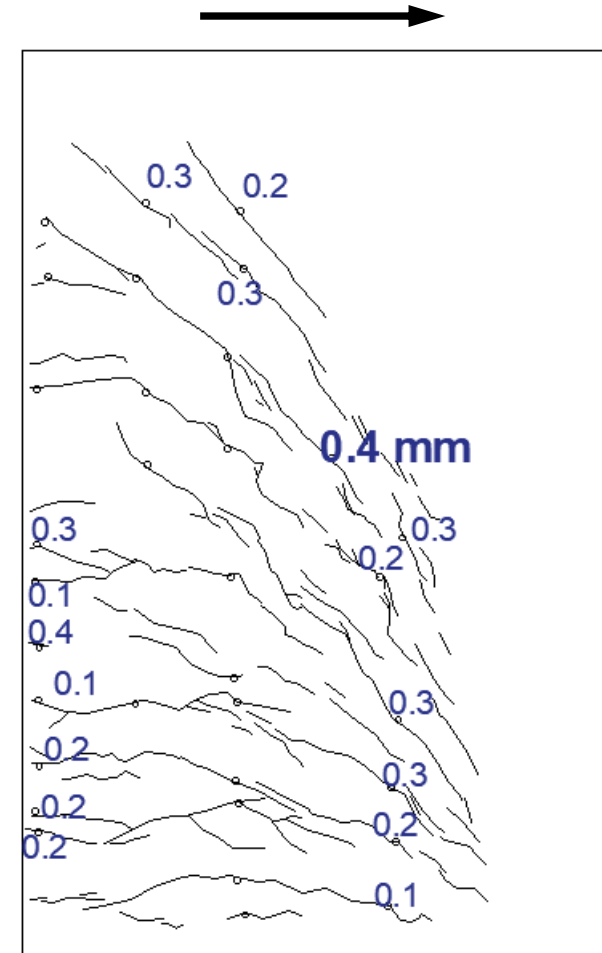
$V = 930 \text{ kN}$



Référence



Surface lisse
BFUP 30 mm



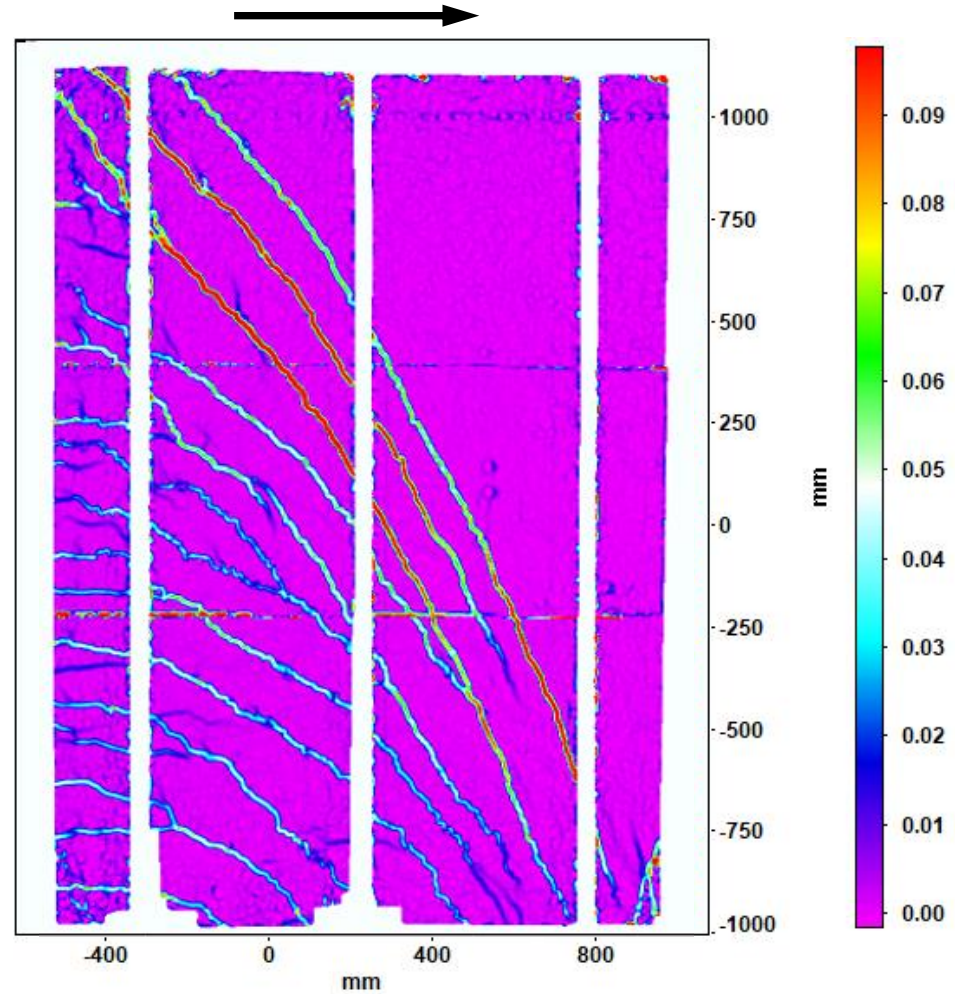
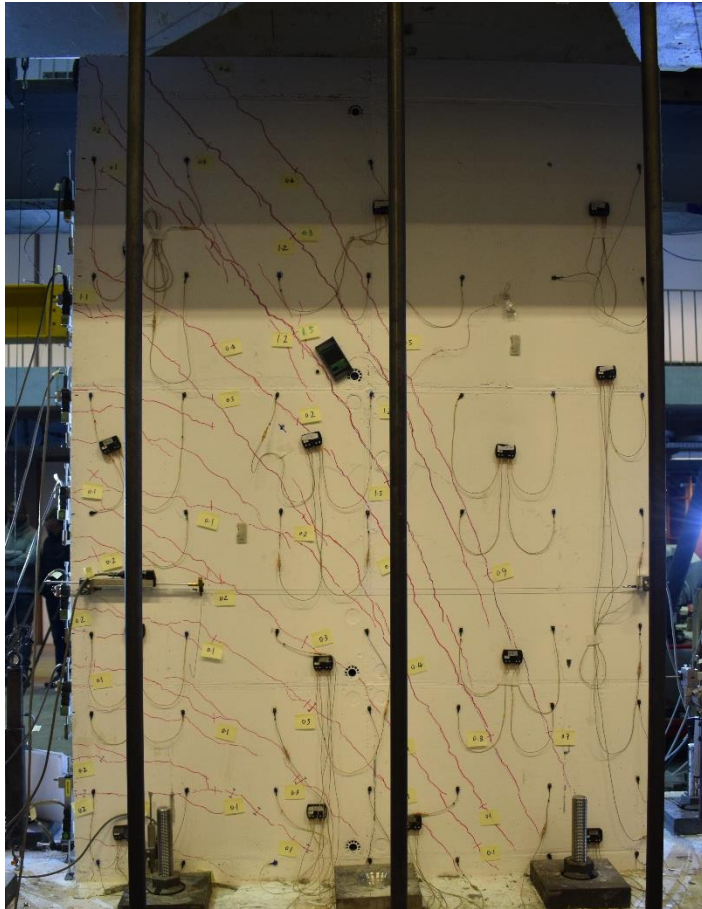
Hydro démoli
BFUP 30 mm

Déformations principales maximales et schéma de fissuration - CID



$V = 1040 \text{ kN}$

$\Delta = 21 \text{ mm}$





Mesures des fissures - CID

$V = 1040 \text{ kN}$

$\Delta = 21 \text{ mm}$



Ouverture
des fissures
(mm)

Glissement
des fissures
(mm)

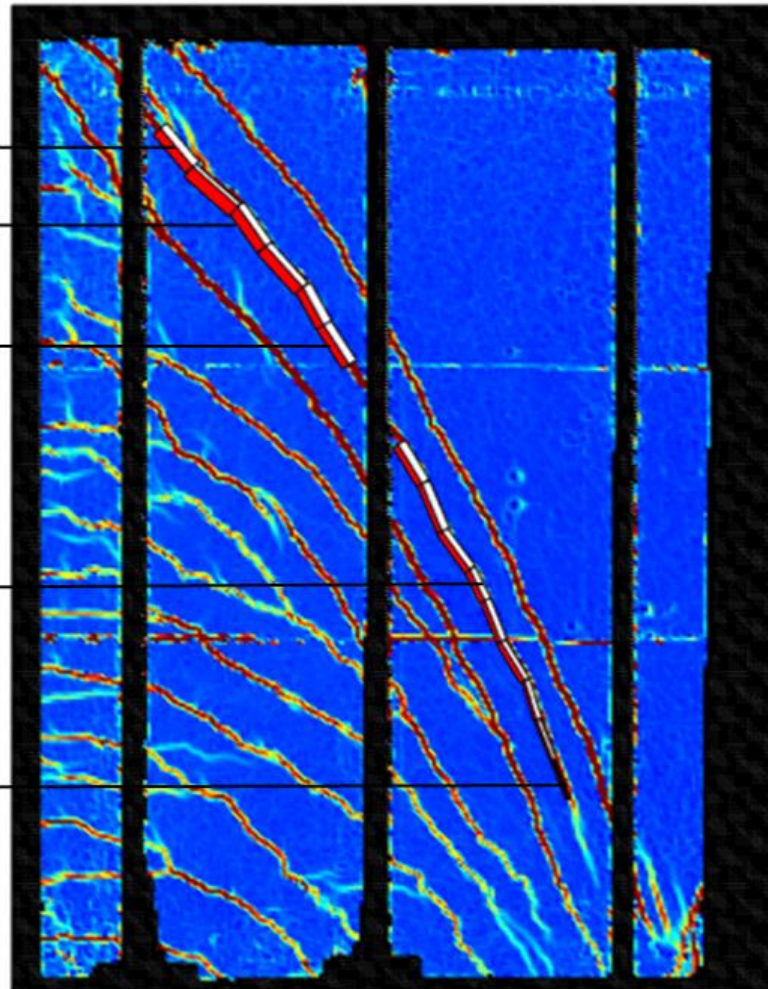
1.84 – 2.21

1.73 – 2.50

1.95 – 1.84

1.43 – 1.32

0.42 – 0.50

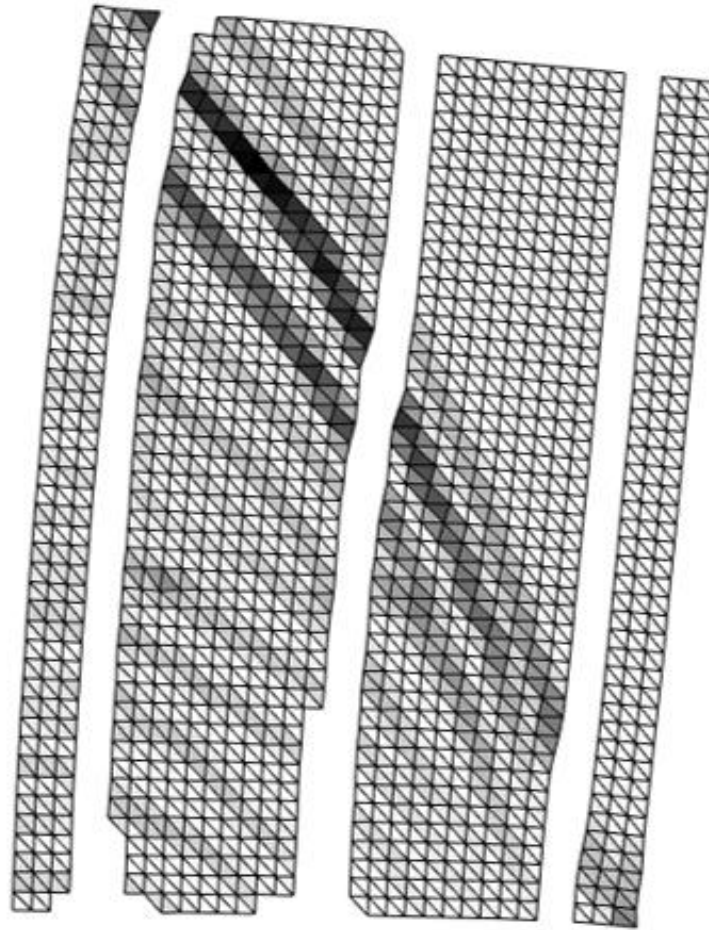




Déformée à la rupture - CID

$$V = 1040 \text{ kN}$$

$$\Delta = 21 \text{ mm}$$

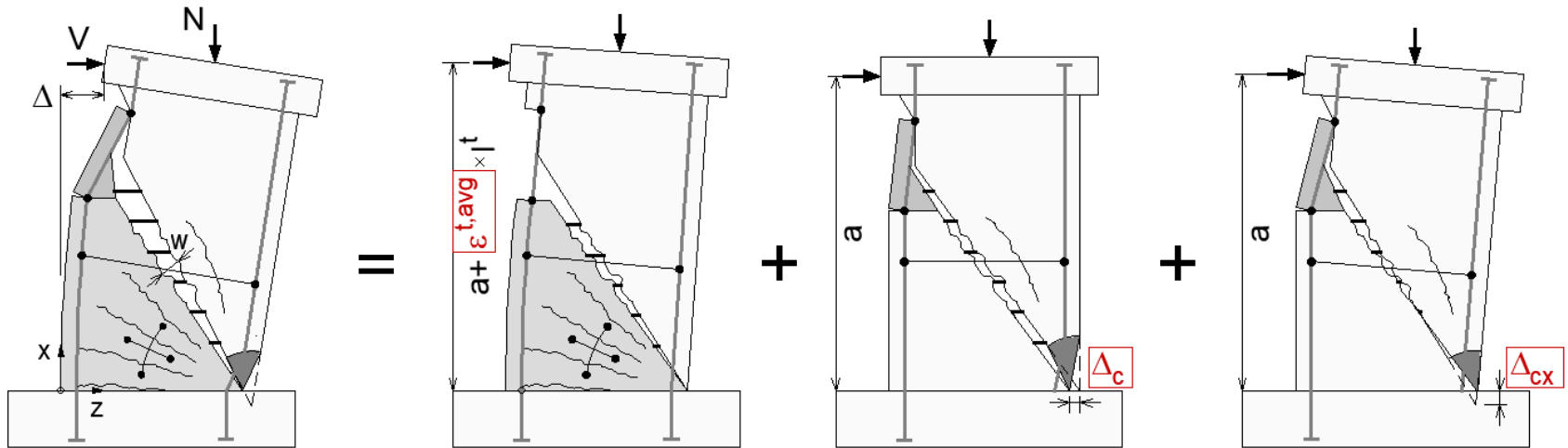


facteur d'échelle = 10



Modélisation – Modèle cinématique

Three-Parameter Kinematic Theory (Prof. Mihaylov)



- Basé sur des champs de **déformations**
- Seulement **3 paramètres** cinématiques
 - déformation $\epsilon_{t,avg}$
 - déplacements Δ_c et Δ_{cx}

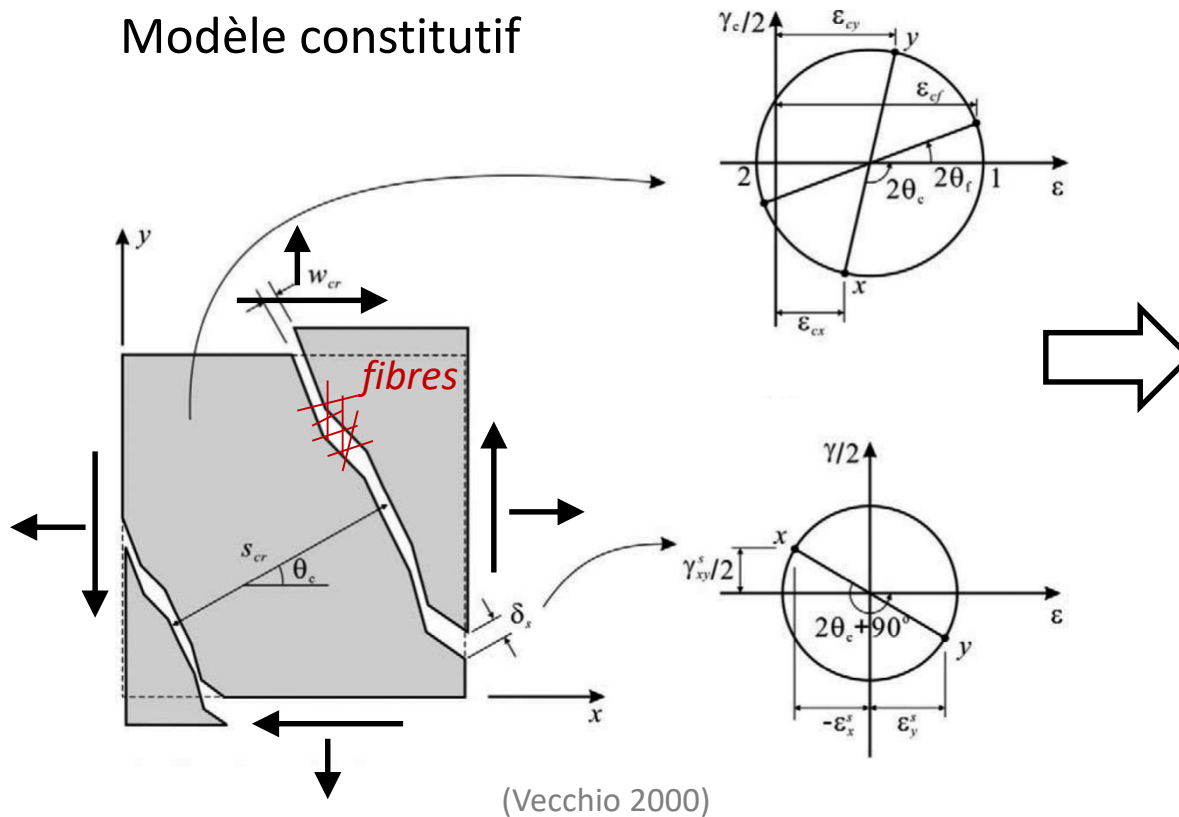


- **Modèle** similaire pour les piles avec du BFUP
- **Validation** avec les tests et les simulations numériques

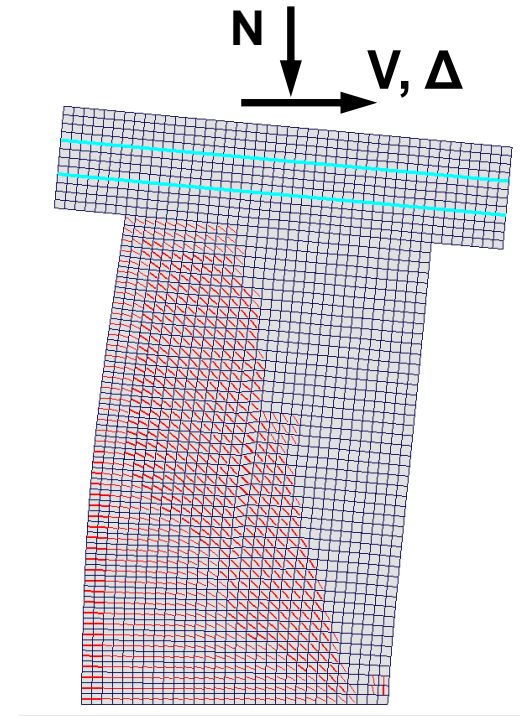


Modélisation – Modèle numérique

Modèle constitutif

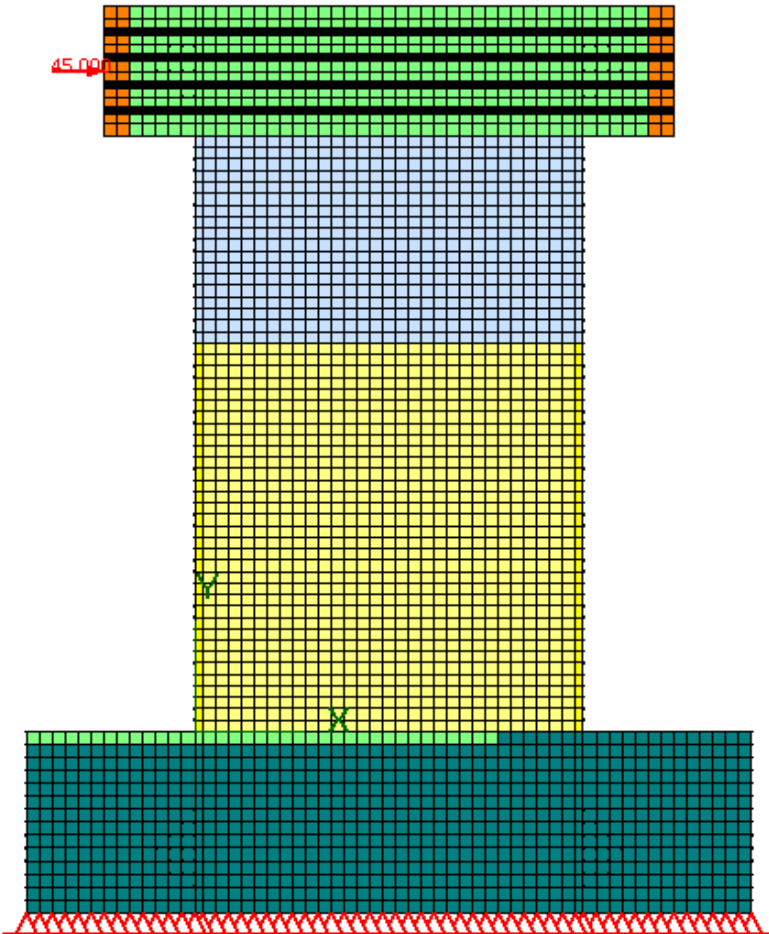


Simulation via VecTor2

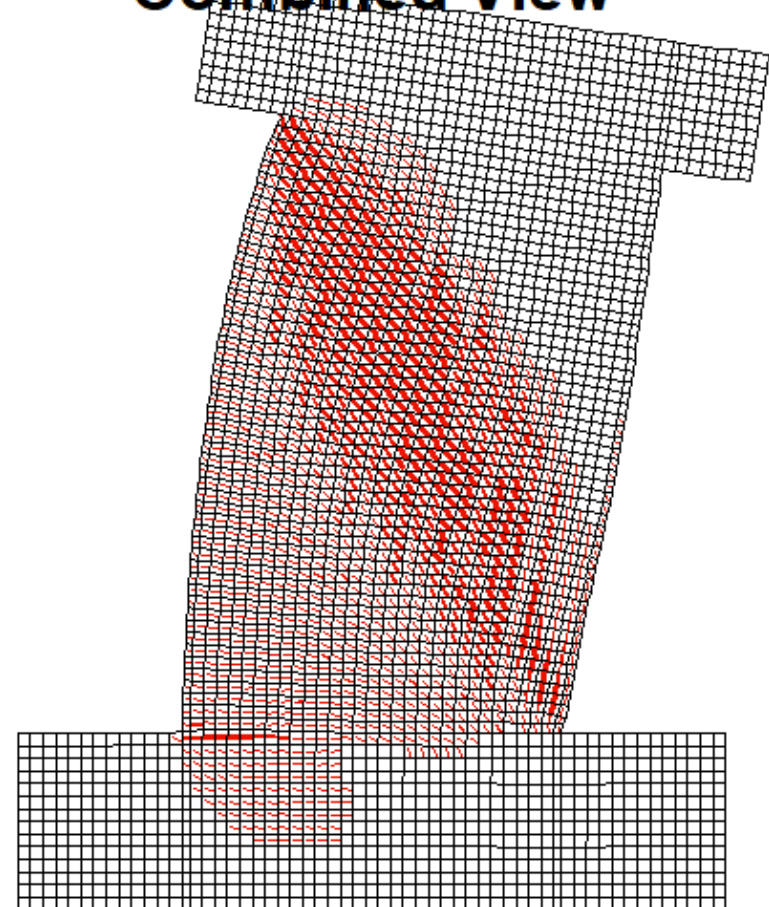


- Extension de “Disturbed Stress Field Model” au BFUP
- Validation avec la littérature scientifique

Modélisation – Modèle numérique



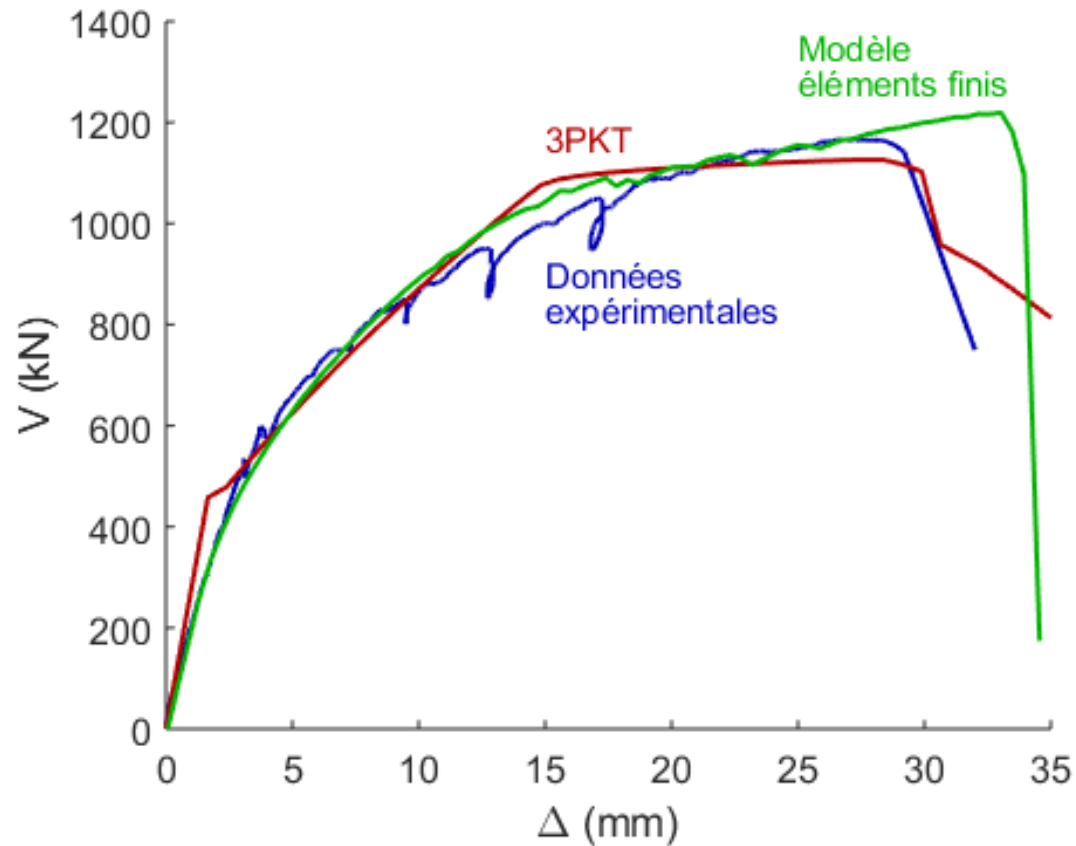
Combined View





Modélisation – Résultats préliminaires

Mur hydro démoli – BFUP 30 mm



Conclusion



- Preuve de l'applicabilité
- Efficacité de l'hydro démolition
- BFUP augmente la résistance et la ductilité
- BFUP améliore le contrôle des fissures
- Méthodes de modélisation prometteuses

- Requiert plus d'expérimentations