



Jeudi 27 novembre 2014
Amphi des 13-Vents
Aix-en-Provence



Direction territoriale Méditerranée

«Renforcement parasismique des constructions existantes »

Les renforcements par composite - travaux du groupe de travail AFGC

E. FERRIER, Professeur, Université LYON1
emmanuel.ferrier@univ-lyon1.fr



PLAN

- Introduction
- Contribution des PRF
- Exemples
- Le groupe de travail de l'AFGC
- Conclusions

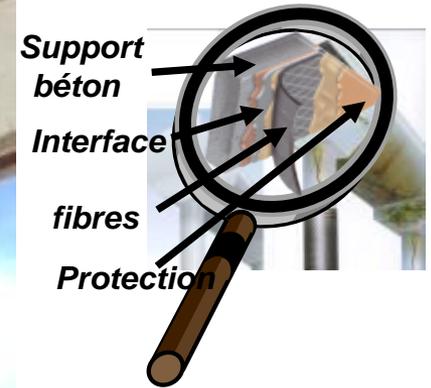


PLAN

- **Introduction**
- Contribution des PRF
- Exemples
- Le groupe de travail de l'AFGC
- Conclusions

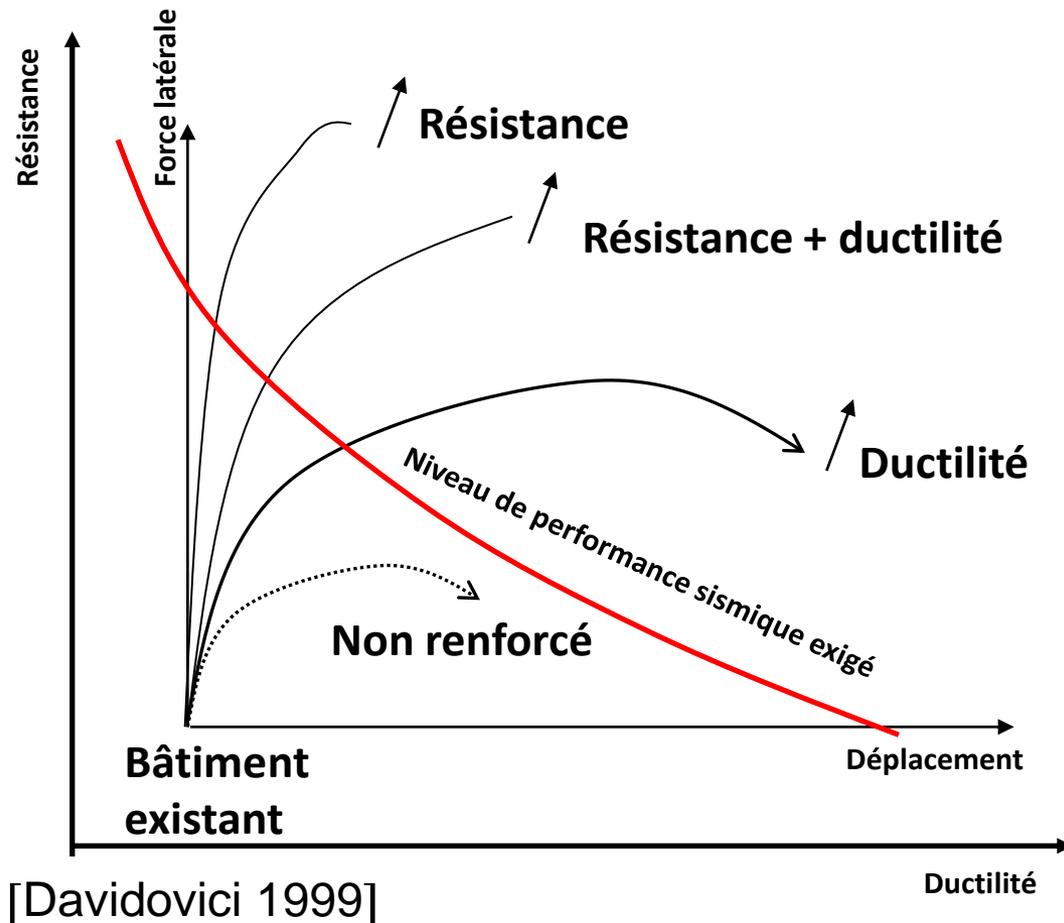


Contexte du renforcement parasismique





Différentes stratégies de renforcement parasismique : contribution des composites

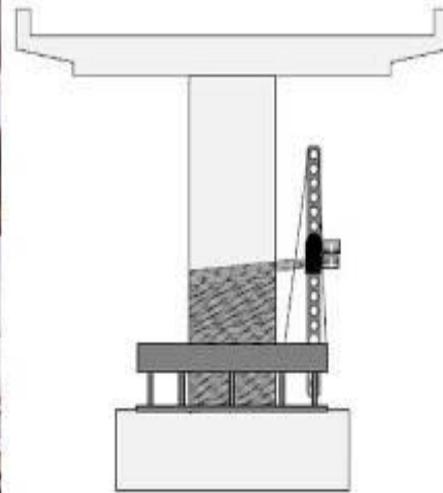
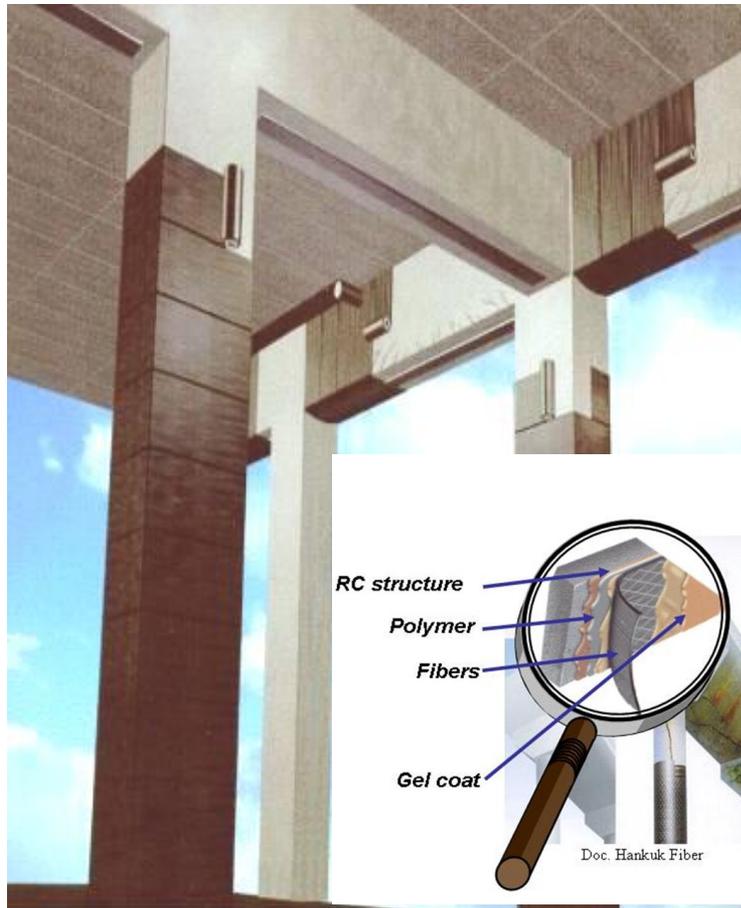


- raideur
- résistance
- ductilité

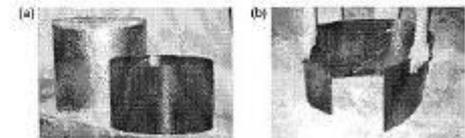
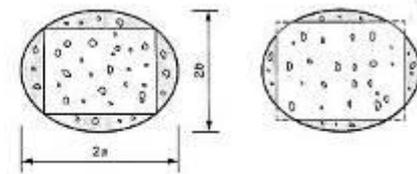




Renforcement de structure par Polymère renforcé de Fibres



FHWA, 2007





Comportement des nœuds d'assemblage

BEAM-COLUMN JOINTS STRENGTHENED WITH FRP SYSTEMS

CIRO FAKKILA
Full Professor
University of Salerno, Department of Civil Engineering
Via Ponte don Melillo, 84084 - Fisciano (SA), Italy
c.fakki@unisa.it

CAROLINA LEDDA
Post-Doctoral Research Assistant
University of Salerno, Department of Civil Engineering
Via Ponte don Melillo, 84084 - Fisciano (SA), Italy
c.ledda@unisa.it

ARMANDO NAPOLI
Post-Doctoral Research Fellow
University of Salerno, Department of Civil Engineering
Via Ponte don Melillo, 84084 - Fisciano (SA), Italy
a.napoli@unisa.it

ROBERTO REALFONZO
Assistant Professor
University of Salerno, Department of Civil Engineering
Via Ponte don Melillo, 84084 - Fisciano (SA), Italy
r.realfonzo@unisa.it

JOSUË GUSTAVO RUIZ FONELLA
PhD Student
Universidad Politécnica de Valencia, IUTICCH
Camino de Vera s/n, 46100 Valencia, Spain
jruiz@iuticch.upv.es

Abstract

This paper presents the first results of an experimental campaign in the Laboratory of Materials & Structures of the University of Salerno. The seismic performance of RC beam-column joints in the presence of FRP systems. The complete test matrix includes eight specimens reinforced with FRP systems. The complete test matrix includes eight specimens reinforced with FRP systems. The complete test matrix includes eight specimens reinforced with FRP systems.

Keywords: Beam-column joints; Seismic; experimental tests; FRP; tests

1. Introduction

Nowadays, the seismic upgrading of underdesigned reinforced concrete represents a key issue in the civil engineering field. Typically, beam-column existing framed buildings were designed to behave in a weak column-strong beam manner, under seismic loads, may lead to the formation of local hinges.

Page 1 of 9

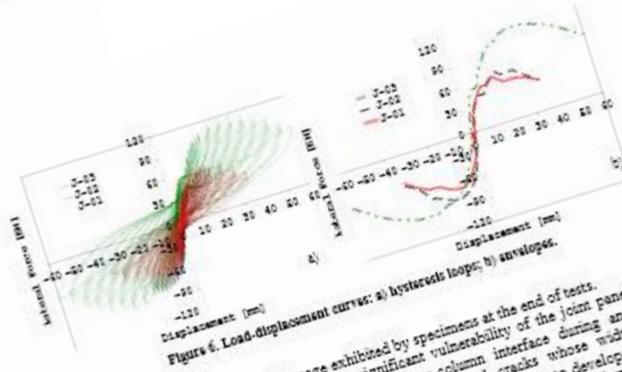


Figure 6. Load-displacement curves: a) hysteresis loop; b) envelopes.

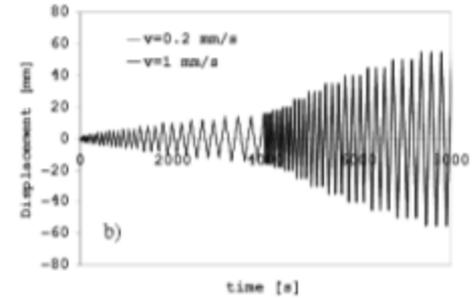
3.2 Failure mode

Figure 7 shows the scenario of damage exhibited by specimens at the end of tests. The control specimen J-01 highlighted a significant vulnerability of the joint panel region. The first signs of damage occurred at the beam-column interface during an imposed displacement of 5 mm; they consisted of small flexural cracks whose width did not significantly increase during the test. Then, several shear cracks start to develop in the joint region but these did not affect the member strength up to a displacement of 20 mm, i.e. when the cracks along the four diagonal of the panel became dominant (Fig. 7a). In this test, the conventional collapse was characterized by spalling of the concrete outer wedge which left the anchorage of the beam longitudinal reinforcement discovered (Fig. 7b).



Figure 7. Damage pattern of test specimens: J-01 (a,b); J-02 (c,d); J-03 (e). As mentioned in the previous section, the behavior of the specimen J-02 was strongly influenced by the premature delamination of the FRP layers which were not well anchored on the beam face by proper anchorage systems. This phenomenon was induced by the opening of flexural cracks at the beam-column interface during a displacement value of 10 mm. The damage was then followed by the development of relevant vertical cracks which, starting from the beam-column interface, propagated along the beam parallel to the FRP sheets. At an imposed displacement of 14 mm, the delamination of the FRP was activated at one beam side (Fig. 7c) and progressively developed towards the joint panel, on the opposite beam side.

Page 7 of 9



R. Pinnella (2010)



Renforcement des poteaux

Manuel A.G. Silva (Portugal)



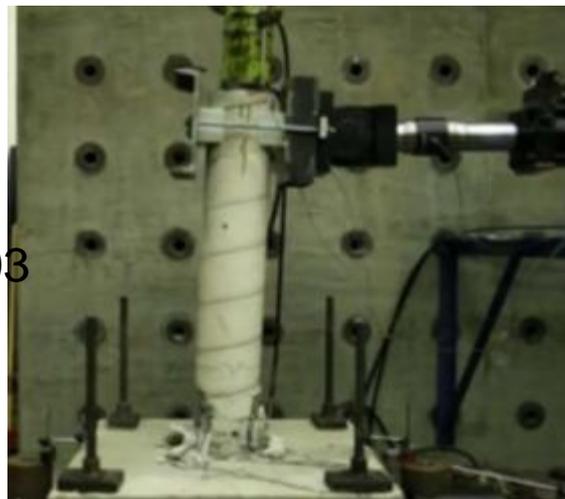
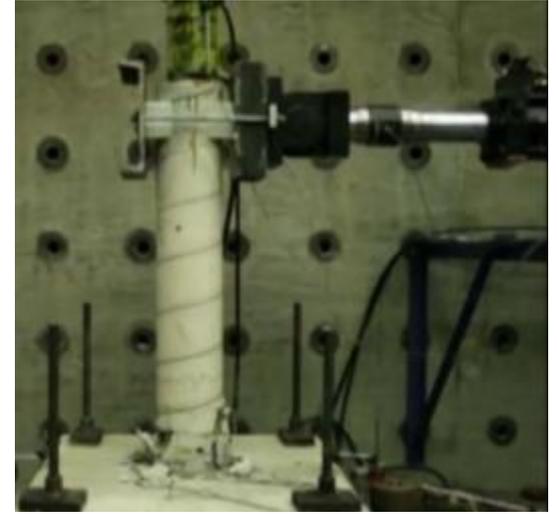
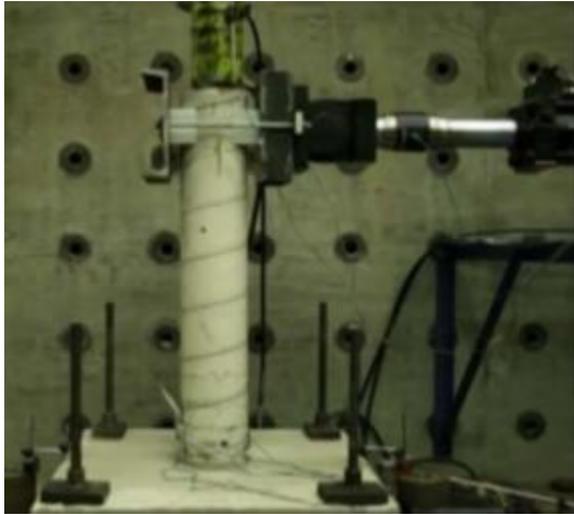
Figure 2. Cyclic displacement imposed on CFRP strengthened column (UNL) and axial tests on confined cylinders (IST)



Figure 3. Hollow piers before and after the shear retrofitting with 2 layers of CFRP strips (UP).



Gains de ductilité



University of Illinois
Department of Civil and
Environmental Engineering, 2003



Gains de ductilité



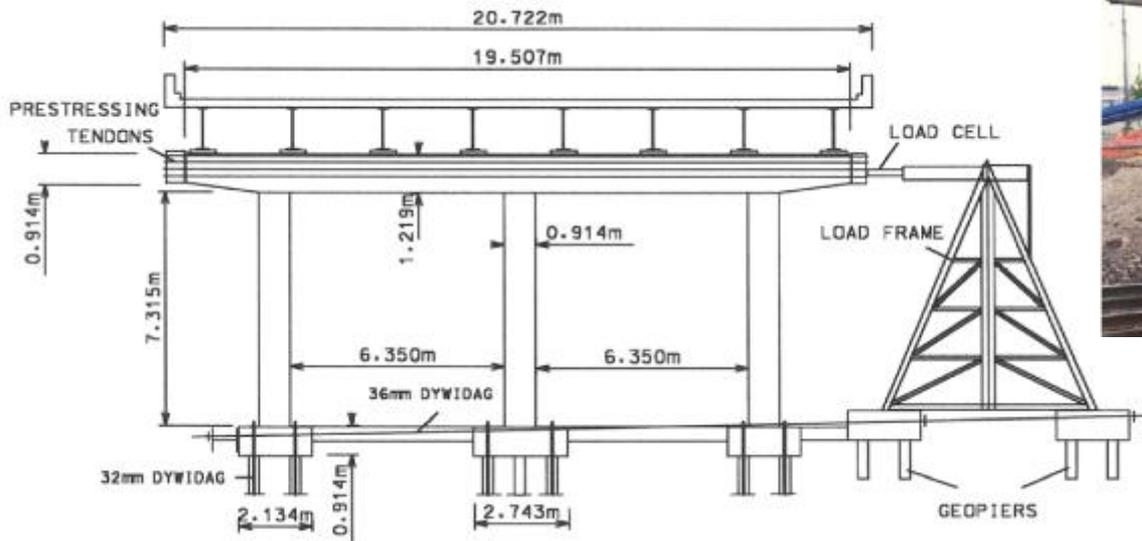
University of Illinois
Department of Civil and
Environmental Engineering, 2003



Renforcement des ponts Pantelides USA

Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Beam-Column T-Joints in Bridge Piers with FRP Composite Jackets

by C.P. Pantelides and J. Gergely





Renforcement des ponts Pantelides USA

Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Beam-Column T-Joints in Bridge Piers with FRP Composite Jackets

by C.P. Pantelides and J. Gergely

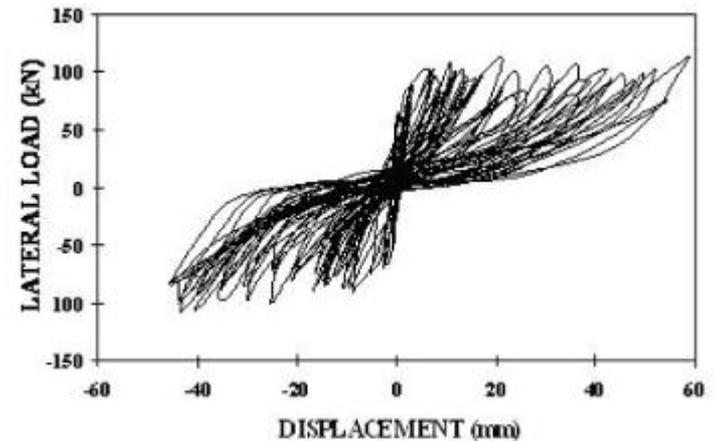
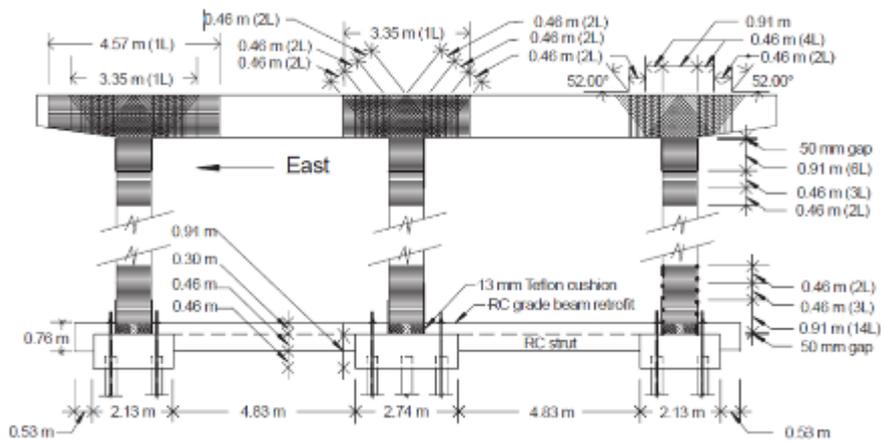
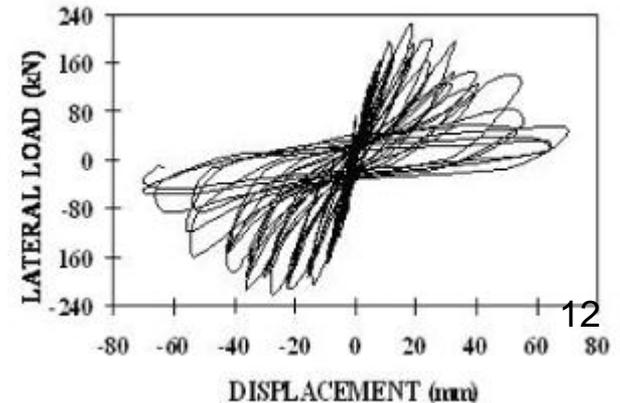
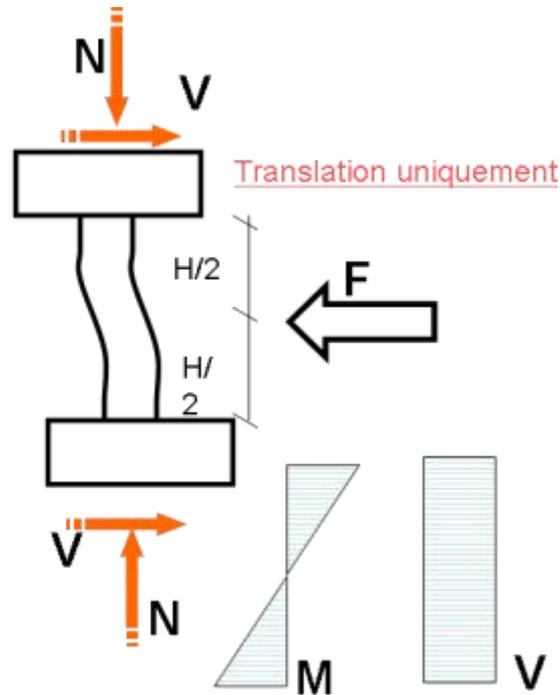
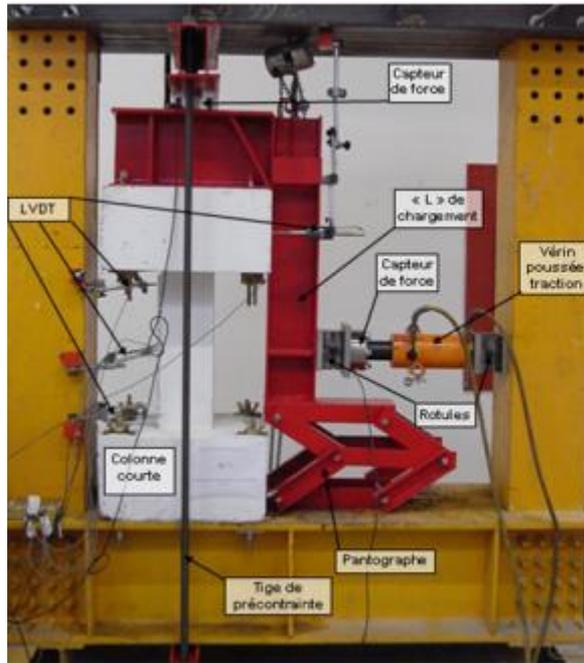


Figure 2 - Hysteresis for as-built beam-column joint.
(1 kN = 0.225 kips, 1 mm = 0.039 in.)





Essais en France: Développement d'essais de caractérisation

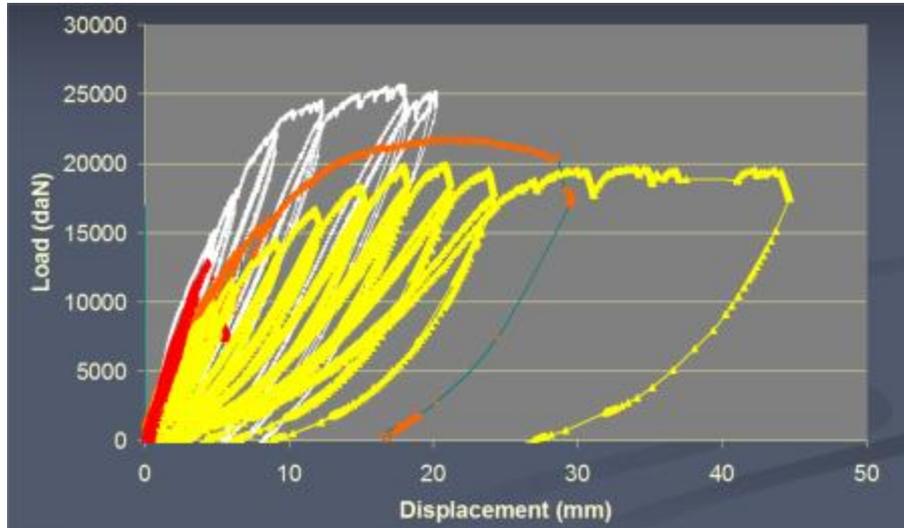


Université LYON 1





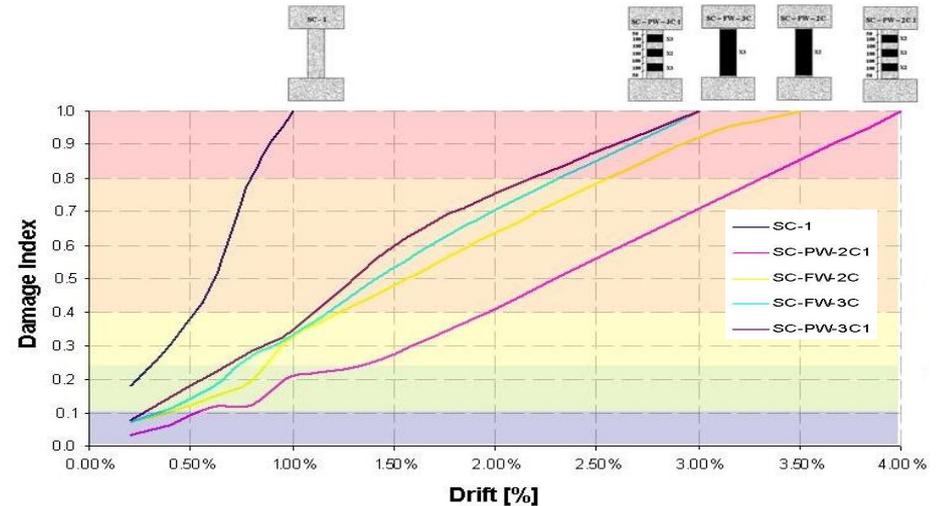
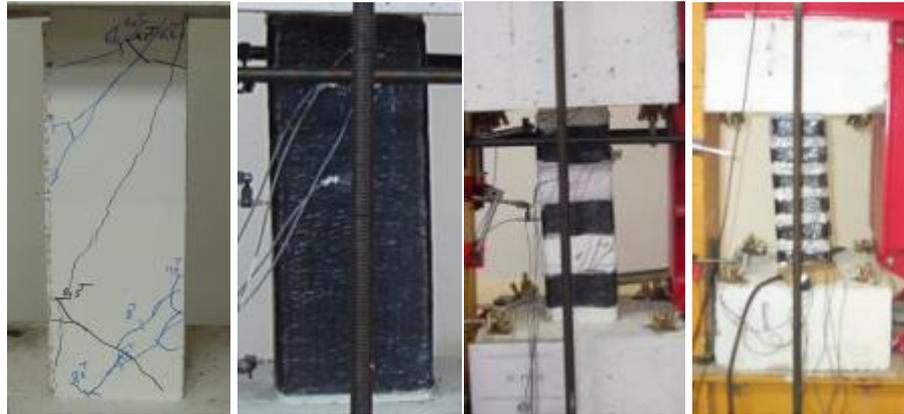
Exemples de résultats



Indicateur énergétique

$$D = \sum_i \frac{F_i \delta_i}{F_y \delta_y} \quad E_n = \frac{\int dE}{\frac{1}{2} M_y \phi_{\psi}} \quad D^+ = \frac{\sum_i E_{P,i}^+ + \sum_j E_j^+}{E_f^+ + \sum_j E_j^+}$$

energy of the principal half – cycle I;
energy of the secondary half – cycle j;



F. Colomb (2004-2007), G. Promis (2007)



Programmes de recherche collaboratifs : Projet INPERMISE (2008-2012)

Titre du projet	Ingénierie PERformantielle pour la Mise en SEcurité des ouvrages par renforcement composites
Acronyme	IN.PER.MI.SE



Aide ANR : 352 k€





PLAN

- Introduction
- Contribution des PRF
- **Exemples**
- Le groupe de travail de l'AFGC
- Conclusions



Exemples USA

Piles de Pont – Californie, USA

Pont de l'autoroute US-87 (années '90):
2005 → mise à jour du poids de la circulation
→ inspections de la suffisance sismique

➔ Renforcement des piles



➤ Système Tyfo® en fibres de verre a enveloppé la base pour renforcement à l'effort tranchant + protection contre la corrosion

➤ En 2007 le séisme d' Alum Rock (5.6Mw), le plus fort après Loma Prieta (1989), a frappé la région de Californie.

➔ Aucun dommage





Exemples USA

Renforcement à l'effort tranchant des poteaux

Réparation d'urgence a la suite d'un événement sismique important

Hôtel Nikko, Beverly Hills: endommagé par le séisme Landers en 1992 → Dégâts aux poteaux courts → renforcement à l'effort tranchant

Séisme de Northridge → comportement du bâtiment amélioré, aucun dégât aux poteaux



Méthode brève et applicable → peut restaurer résistance, rigidité de service, capacité ductile



Pico & Overland Garage, LA → réparation d'urgence des poteaux après le séisme de Northridge, 1994





Inner city railway bridge, Athens



Seismic upgrade of electric railways bridge at Amarousio Station in Athens. Total length of the bridge 300 m.



Inner city railway bridge, Athens



Strengthening of 108 bridge piers with Tyfo UC Strips and Tyfo SEH-51A.





Poros Bridge, Nafpaktos, Greece



Poros bridge constructed in 1943 by the Germans.

Beams strengthening due to vehicle higher loads.



Examples Japon





Rion-Antirion Bridge, Patras, Greece





Rion-Antirion Bridge, Patras, Greece



Strengthening of 28 seismic absorbers' shear-keys with Tyfo SCH-11UP.

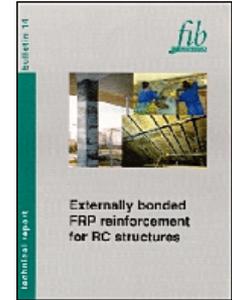
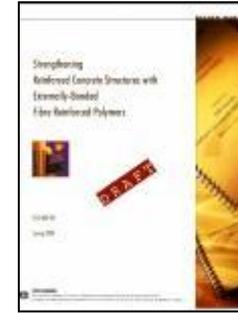


PLAN

- Introduction
- Contribution des PRF
- Exemples
- **Le groupe de travail de l'AFGC**
- Conclusions

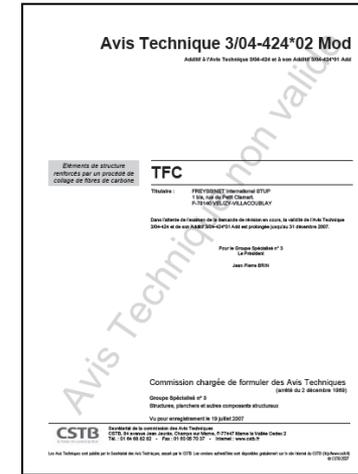
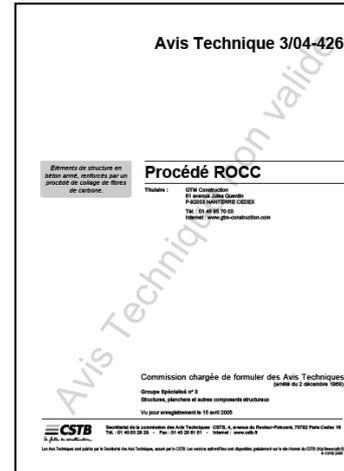


Recommandations et Règles de calcul existantes



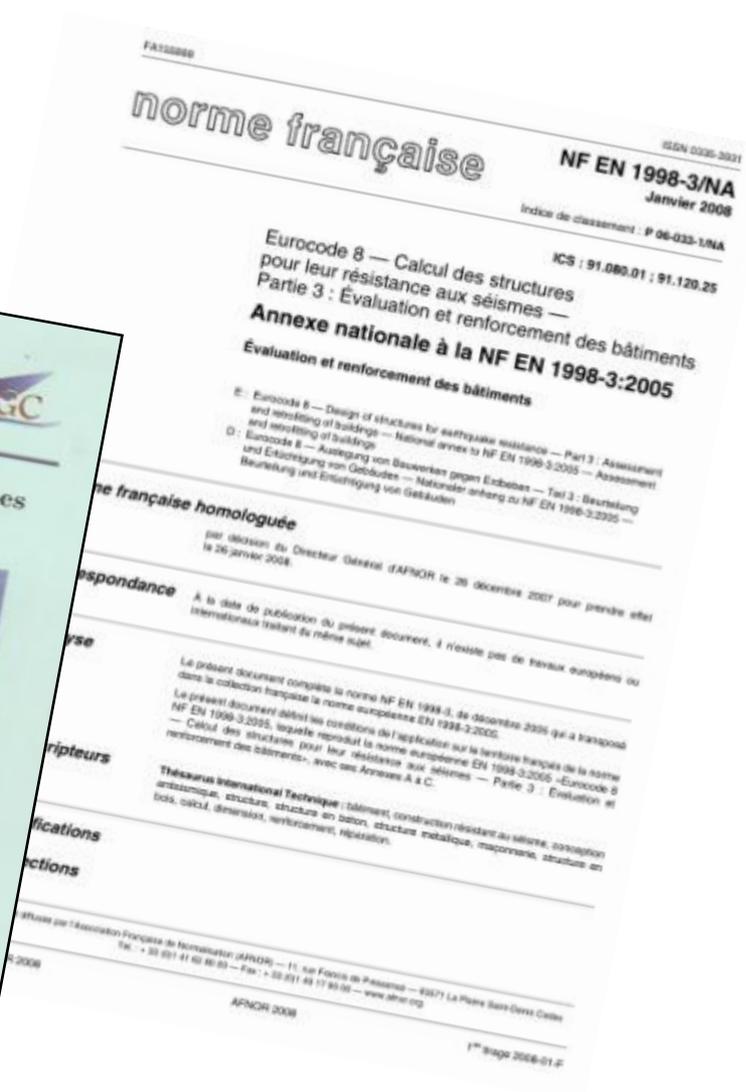
Avis Technique :

- Renforcement de poutres (flexion, effort tranchant)
- Renforcement de poteaux
- Renforcement de dalles



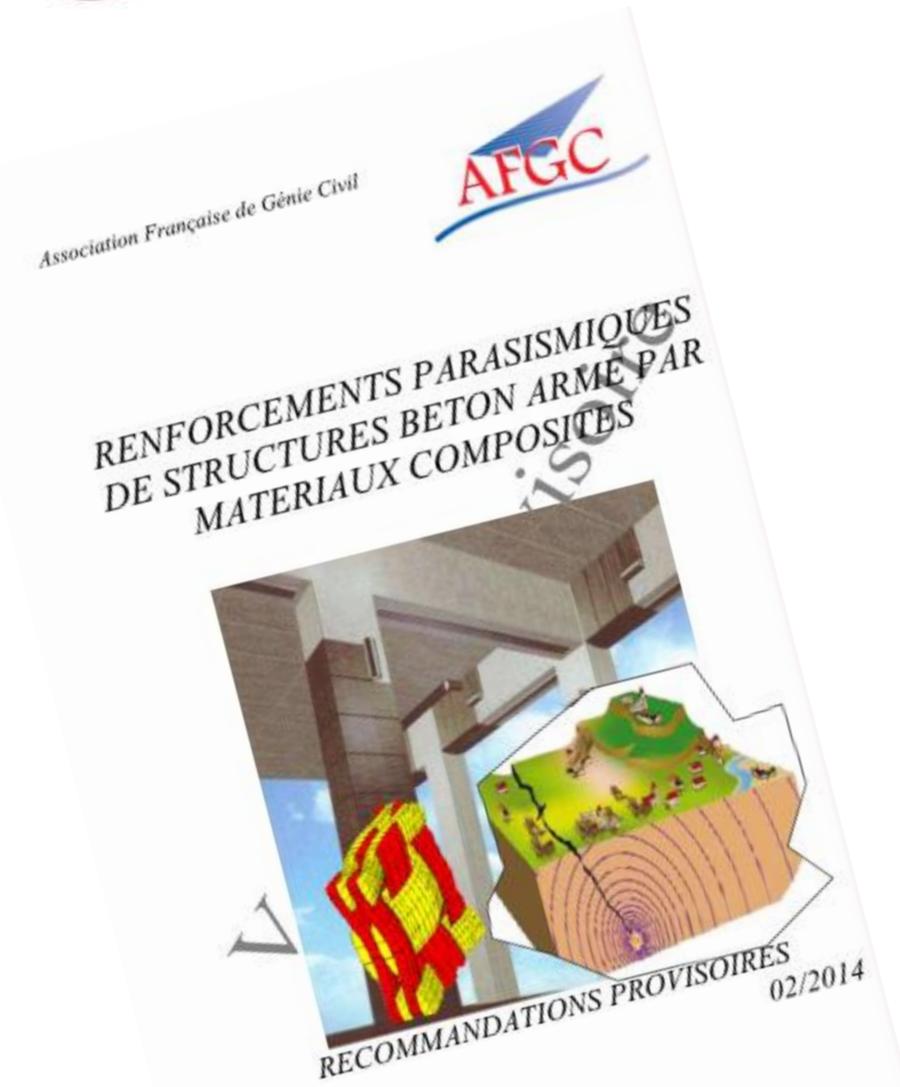


Recommandations et Règles de calcul existantes





Recommandations AFGC



Composition du groupe de travail

Coordination du groupe : Emmanuel FERRIER (LGCIÉ - Université LYON 1)
Et Marc QUERTANT (IFSTTAR)

Secrétaire technique : Laurent MICHEL (LGCIÉ - Université LYON 1)

Participants ayant contribué à l'élaboration du document technique :

ASHTARI	Nader	APAVE
BIGAUD	David	Université Angers
BLAISE-MARTIN	Xavier	MAPEI
BUCHIN-ROULIE	Vanessa	Freyssinet
CASTELLAN	Bernard	AC45
CHATAIGNER	Sylvain	IFSTTAR
DESPREZ	Cécile	IFSTTAR
DEVEAUD	Jean-Paul	SETRA-CTOA/DGOI
DUBREUIL	Julien	NUVIA-TS
DUTHOIT	Alexis	
FECHNER	Jean-Pierre	CEMEX
FERRIER	Emmanuel	Université LYON1
FORET	Gilles	IFSTTAR
GERAUD	Vincent	VSL France
GICQUEL	Yvon	Sika France
GRACIA	Maria	Freyssinet
HENAUT	Jean-Michel	EDF
KAZANTZIDOU-FIRTINIDOU	Danaï	FYFE Europe SA
LACAUX	Emmanuel	Vinci construction
LI	Alex	Université Reims
LITIQUE	Marc	Fibrap Construction France
MARNAC	Sandrine	CETE SO/DALETT/OAB
MERCIER	Julien	Freyssinet
MICHEL	Laurent	Université LYON1
PAJLLE	Jean-Marie	Socotec
PERE	Victor	NUVIA-TS
QUERTANT	Marc	IFSTTAR
RASSELET	Johannis	BOUYGUES Construction
RIVART	Vincent	SPPM
RIZARD	Fabien	SETRA-CTOA/DGOI
SADONE	Raphaëlle	CETE Lyon/DLL/GASMD/DOA
SIMON	Alain	Eiffage TP
TAILLADE	Frédéric	IFSTTAR
TESSIER	Marc	Fibrap Construction
THEVENIN	Pierre-Eric	Bureau Veritas
VIVIER	Aurélien	Systa

36 personnes, 111 pages



Plan du document de travail

- Généralités sur le comportement sismique des structures
- Définition des niveaux de connaissances de la modélisation des structures en béton armé
- Renforcement parasismique par PRF de structure en béton armé
- Dimensionnement d'un renforcement PRF
- Dispositions constructives



Synthèse des études de cas

Cheminée du I
2010 - Bandes de Ca

Description du I

La cheminée de 140m...
Un autre exemple...
Nom du...
Type d'...
Type d'...
Mode...
Surface...

Bâtiment des Jeux Olym
2004 - Bandes de Verre Tyjo® SEH

Description du contexte

Un bâtiment du vest airport d'Athènes...
Nom du...
Type d'...
Type d'...
Mode...
Surface...

Description du renfo

La conception de la solution d'un renforcement à l'effort tranché...
Nom du procédé utilisé : Verre Carbone Autres
Mode d'application : Lamelles Tissus stratifiés au contact
Surface appliquée : 100

Cimenterie d'Iligan - Philippines, Ile de M

2011-2012 - Renforcement TFC® + LFC® + mèches d'ancrage

Description du contexte du projet

La tour préchauffeur de la cimenterie d'Iligan dans l'île de Mindanao est une structure poteau-poutre en béton armé d'une hauteur de 60m. Elle a été construite il y a environ 40 ans.

Un audit de la tour a révélé des dégradations importantes ainsi que la nécessité de renforcer la structure afin qu'elle résiste aux charges sous séisme.



Figure 1

Description du renforcement



Figure 2 : Photo du renforcement

Nom du procédé utilisé : Composites Foreva TFC (tissus) et

Type d'éléments renforcés : Poteaux Voiles, murs

Type de fibre : Verre Carbone Autres

Mode d'application : Lamelles Tissus stratifiés au c

Crolles - Bâtiment B2 ST

2006 - Renforcement TFC® + mèches d'ancrage + mèches de couture

Description du contexte du projet

Le bâtiment renforcé comportant 4 niveaux est un ouvrage d'accès à d'autres structures de l'usine. Le maître d'ouvrage réalise une liaison entre les salles blanches de 2 bâtiments distants d'une trentaine de mètres qui transite par le bâtiment à renforcer.

Ceci induit l'ouverture de 3 linteaux de dimensions 4,15m de large par 6,5m de haut.

La situation de l'ouvrage en zone sismique et la modification de la répartition des charges dans les voiles et les dalles imposaient la mise en œuvre d'armatures supplémentaires.



Figure 1 : Photo de l'ouvrage

Description du renforcement



Figure 2 : Photo du renforcement

Freyssinet est intervenu en qualité de sous-traitant dans le renforcement de la structure. Les travaux de renforcement qui devaient initialement s'effectuer à l'aide de plaques métalliques, ont été réalisés par mise en œuvre d'un réseau de bandes de TFC® de largeurs 40, 75, 150, 200 et 300mm pour le renforcement au séisme et des linteaux.

Afin d'assurer la continuité de certaines bandes sur toute la hauteur ou largeur du bâtiment, des traversées de dalles et de voiles ont été réalisées avec des mèches de coutures.

Enfin, des mèches d'ancrages ont également été posées. Il est à noter que le renforcement des linteaux a été réalisé selon un phasage strict, en coordination avec le scieur chargé des ouvertures dans les voiles en béton armé.

Nom du procédé utilisé : Composite Foreva TFC + mèches Foreva WFC100 + coutures Foreva WFC200

Type d'éléments renforcés : Poteaux Voiles, murs Poutres Dalles Nœuds

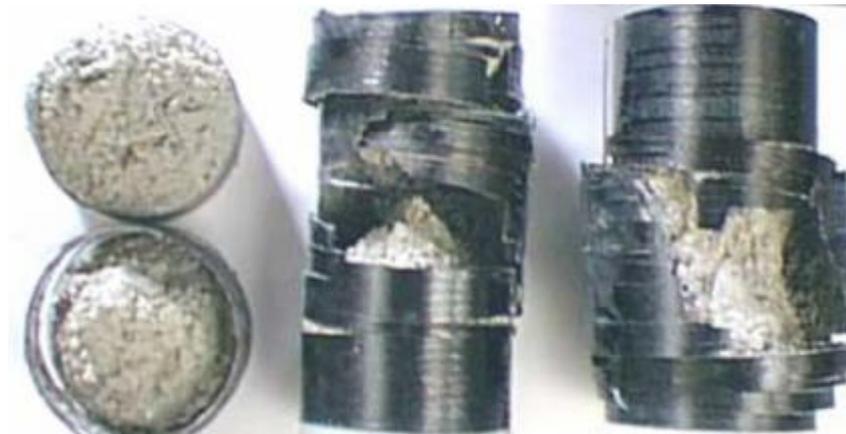
Type de fibre : Verre Carbone Autres :

Mode d'application : Lamelles Tissus stratifiés au contact



Augmentation de la résistance à la compression

- La définition de la résistance de la colonne confinée par renforts composites peut être reprise des recommandations provisoires de l'AFGC [19] portant sur le renforcement par matériaux composites des structures en béton armé ou dans l'annexe A de l'Eurocode 8 partie 3.
- Le calcul s'effectue à partir de l'évaluation de la pression de confinement (f_{pud}) qui est identique pour les deux méthodes de calcul (AFGC et EC8). Cette pression dépend des propriétés géométriques de l'enveloppe composite et des dimensions de la pile à renforcer.





Amélioration de la ductilité par effet de confinement local

Les équations suivantes ([EN 1998-3]) permettent ainsi le calcul de la rotation de corde ultime θ_{um} , de la rotation de corde élastique θ_y et de la rotation de corde plastique de poteaux en béton armé soumis à des sollicitations cycliques:

$$\theta_{um} = \theta_{um}^{pl} + \theta_y$$

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0,016 \cdot \left(3^{\nu} \right) \cdot \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} \left(25^{100 \rho_d} \right)$$

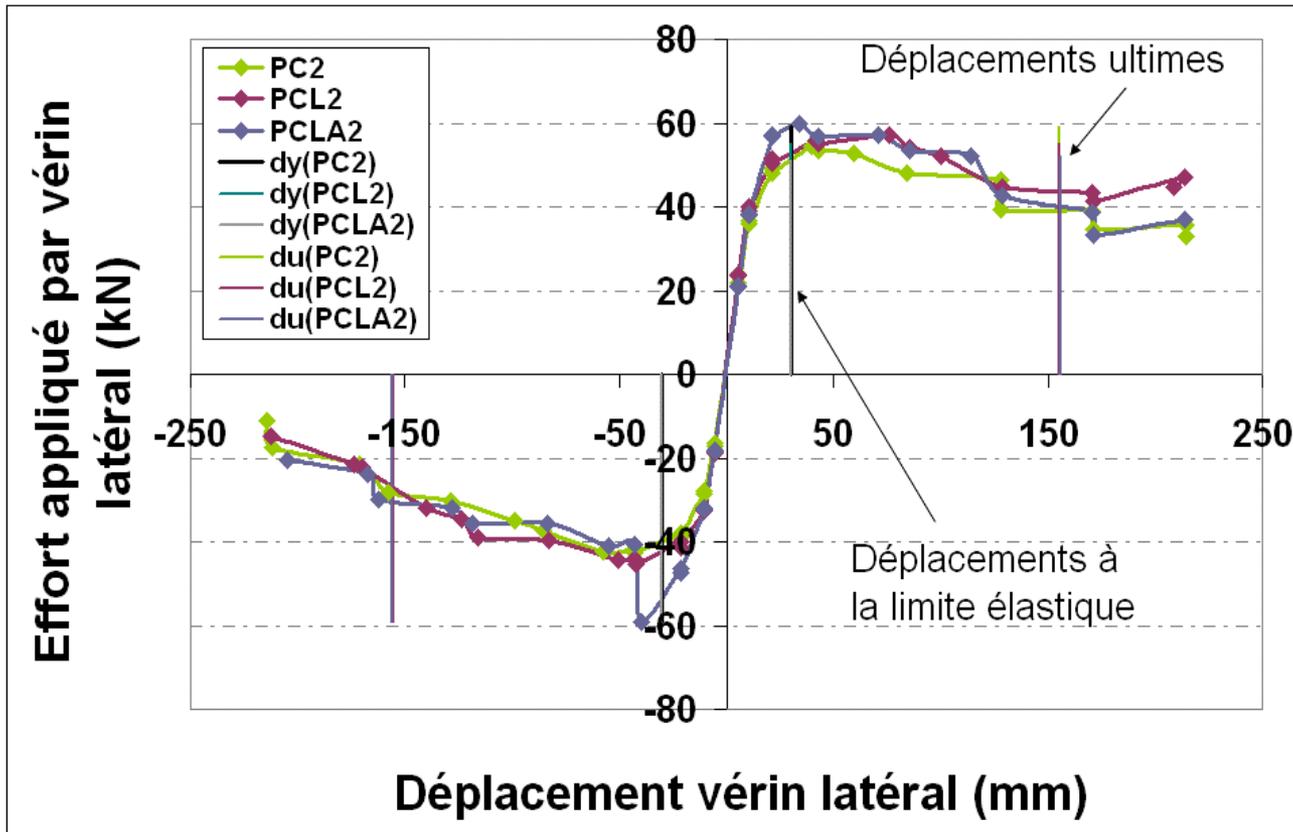
$$\theta_{um}^{pl} = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0,0145 \cdot (0,25^{\nu}) \cdot \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,3} \cdot f_c^{0,2} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,275^{100 \rho_d})$$

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + \alpha_v z}{3} + 0,00135 \cdot \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_b f_y}{6 \sqrt{f_c}}$$



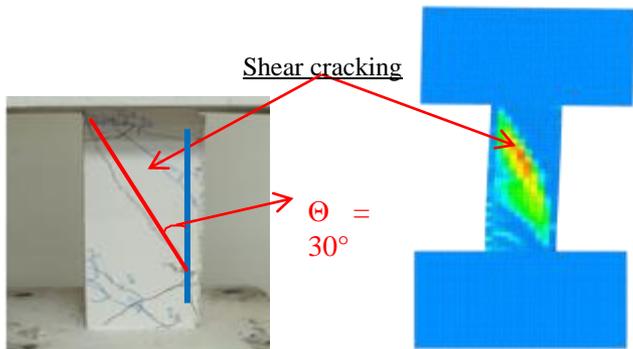
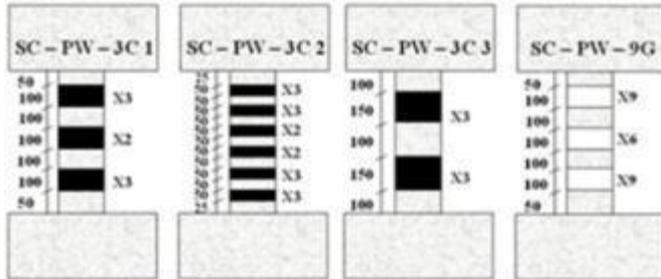
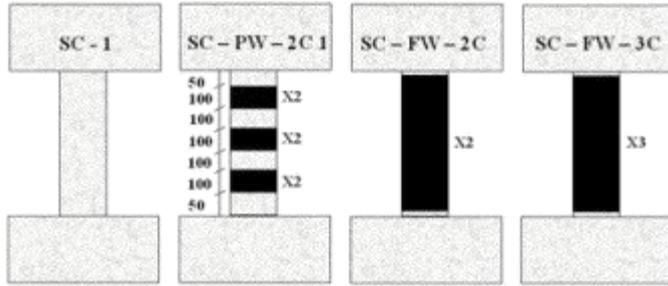


Amélioration de la ductilité par effet de confinement local



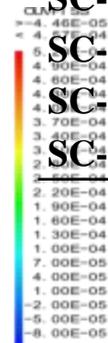


Amélioration de la résistance au cisaillement



Shear cracking

$\theta = 30^\circ$



QJMF1 55: (Depl t : 5.75918E+00 mm) (Reac : 1.22005E+05 N)

$$V_{Rd,f} = 0.9d \cdot f_{fdd,e} \cdot 2 \cdot t_f \cdot \left(\frac{w_f}{s_f} \right)^2 \cdot \cot \theta + \cot \beta \cdot \sin \beta$$

$$f_{fdd,e,W} = f_{fdd} \cdot \left[1 - k \frac{L_e \sin \beta}{2z} \right] + \frac{1}{2} (f_{fu,W}(r_c) - f_{fdd}) \cdot \left[1 - \frac{L_e \sin \beta}{z} \right]$$

	V_{rupt} [kN] ($\theta = 30^\circ$)	V_{rupt} [kN] ($\theta = 21.5^\circ$)	V_{rupt} [kN] ($\theta = 45^\circ$)	Experimental [kN]
SC1	124.8	144.57	105.88	128.3
SC-PW-2C	192.34	226.94	144.88	217.9
SC-FW-2C	227.2	227.20	226.94	256.6
SC-FW-3C	227.47	227.47	227.10	260.1
SC-PW-3C1	192.34	226.94	144.88	211.56
SC-PW-3C2	196.93	227.07	147.52	199.11
SC-PW-3C3	226.96	226.96	178.97	218.66
SC-PW-9G	189.39	237.80	143.17	223.45



Conclusions

- Matériau de renforcement PRF efficace vis-à-vis du renforcement parasismique
- Possibilité de faire évoluer les PRF
- Eléments de dimensionnement pertinent vis-à-vis de la compression, cisaillement
- Besoins de travaux de recherche complémentaires sur les ancrages
- Besoins d'outils d'aide à la décision



QUESTIONS....?

