

Mastère ENPC - 1 juin 2016
 Module Maintenance, Pathologie et REParation des ouvrages

Le renforcement des structures de génie civil par matériaux composites

--
 Domaines d'application et chantiers de référence

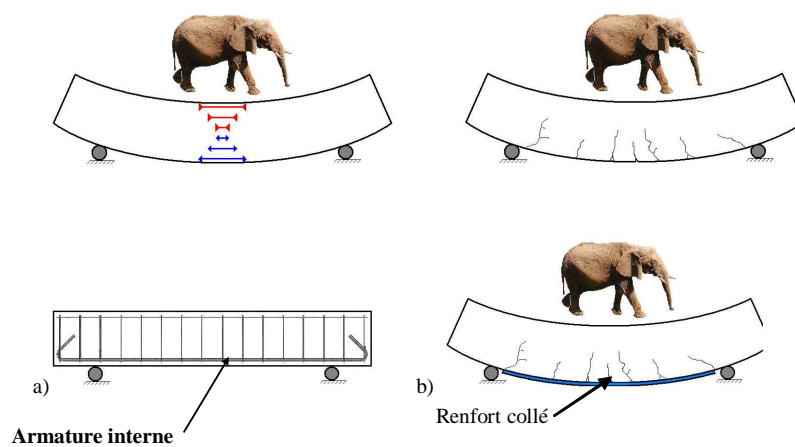
Marc QUIERTANT Marc.Quiertant@ifsttar.fr

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux



Principe : ajout d'armatures extérieures : analogie avec le BA

↔ contrainte de compression,
 ↔ contrainte de traction



Inspiré du Procédé
l'**Hermite** (collage de
tôles métalliques),
pratiqué en France
depuis 1965

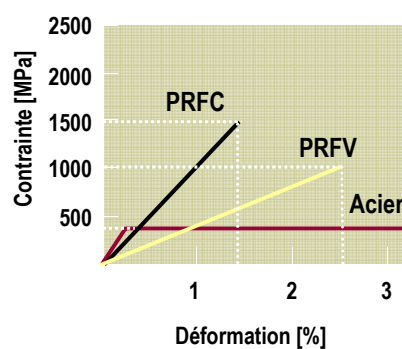
Pb : Dispositif de serrage :
400 à 500 kg / m²



Pb de corrosion

PRF vs. Acier

- Propriétés des PRF
(en général par rapport à l'acier)
 - Comportement linéaire élastique jusqu'à la rupture
 - Pas de plastification
 - Résistance ultime élevée
 - Faible déformation à la rupture
 - Module comparable (PRF de carbone)



Comparaison quantitative (aciers d'armature)

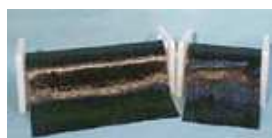
| Matériau | Résistance ultime | Module élastique | Déformation à la rupture |
|----------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| PRF de verre | 517-1207 MPa | 30-55 GPa | 2-4.5 % |
| PRF de carbone | 1200-2410 MPa | 147-165 GPa | 1-1.5 % |
| PRF d'aramide | 1200-2068 MPa | 50-74 GPa | 2-2.6 % |
| Acier | 483-690 MPa | 200 GPa | >10 % |

Conditionnement

- lamelles
(composite)



- tissus
(fibres)

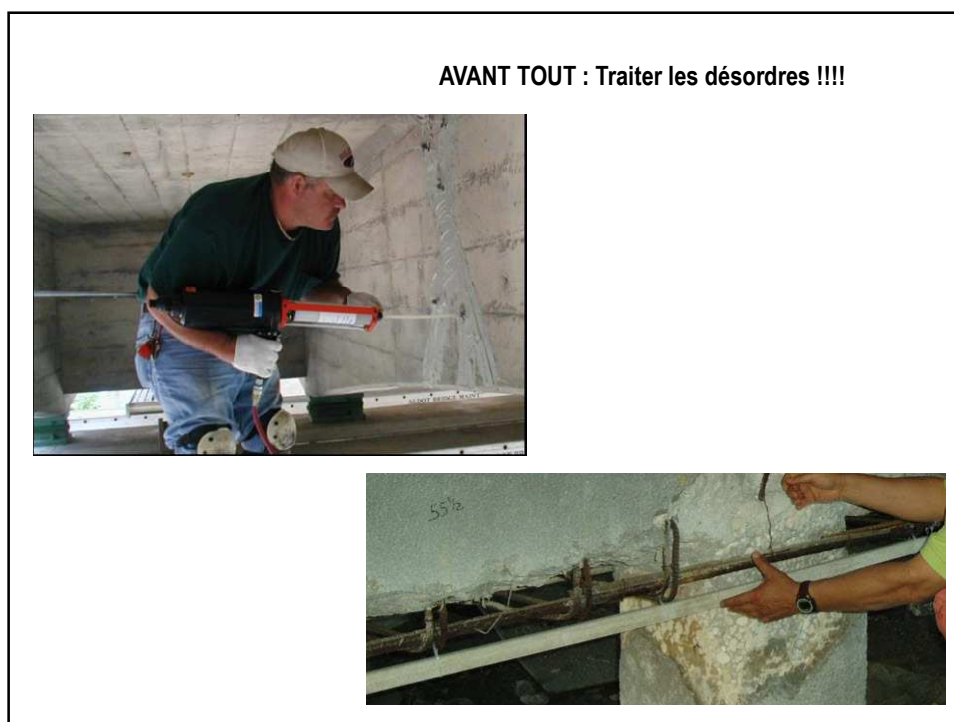
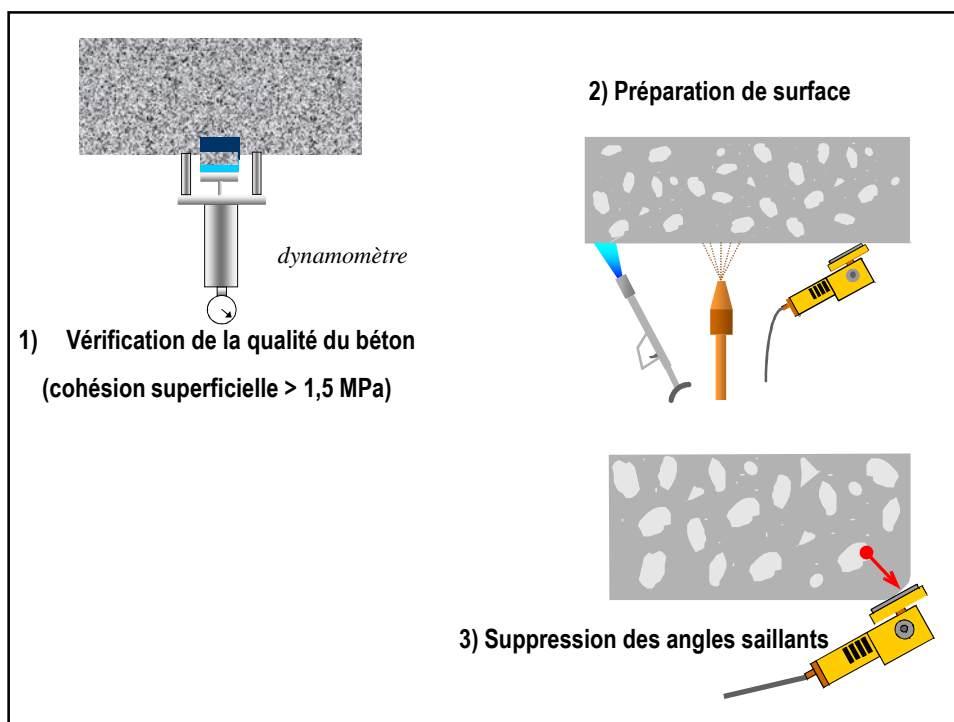


Matériaux et matériel de mise en oeuvre légers

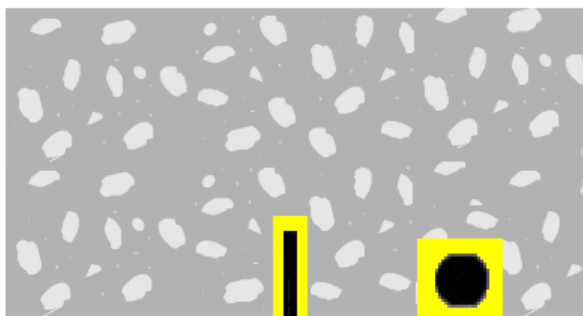


Mise en oeuvre : plats pultrudés





Positionnement des renforts externes en PRF



Collage en surface

Collage dans une engravure

(plats ou joncs de PRF « montés en surface »)

Systèmes légers de
manutention simple.



Systèmes nécessitant peu de
moyen de mise en oeuvre.





Systemes souple qui s'adapte aux formes du support et a une accessibilité réduite.



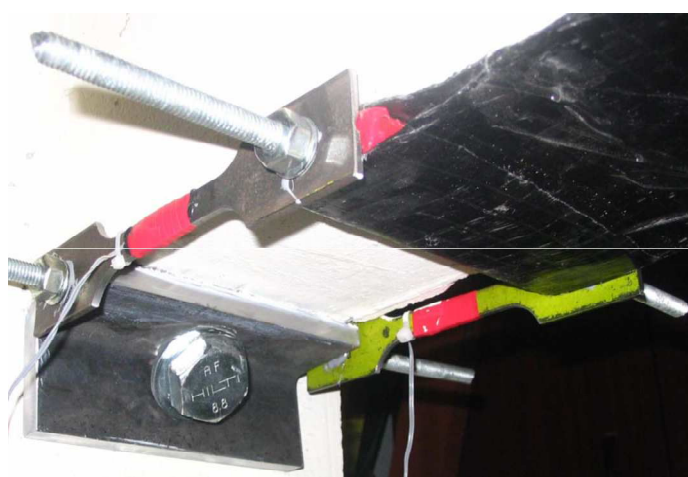
accessibilité réduite (suite)

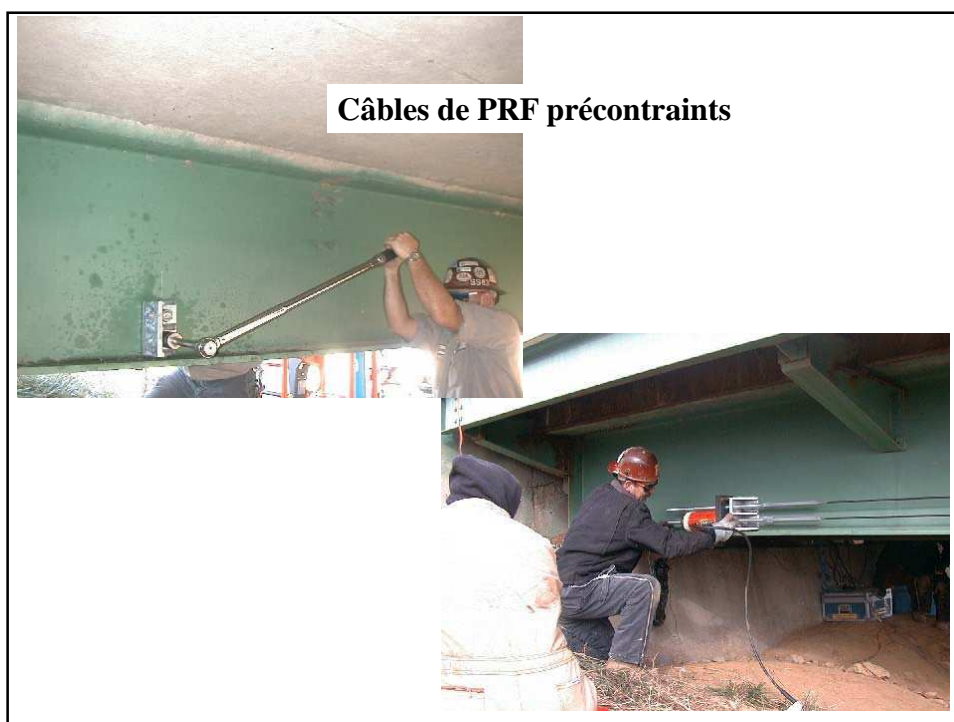
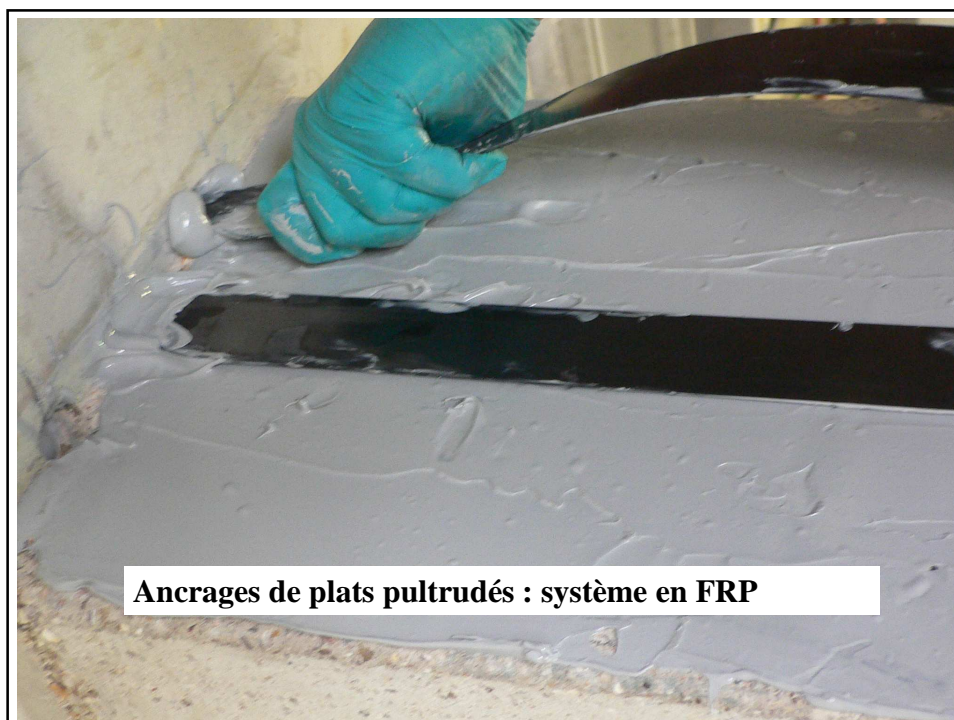


Mise en oeuvre : plats pultrudés par cloutage (USA)



Ancrages de plats pultrudés : système métallique

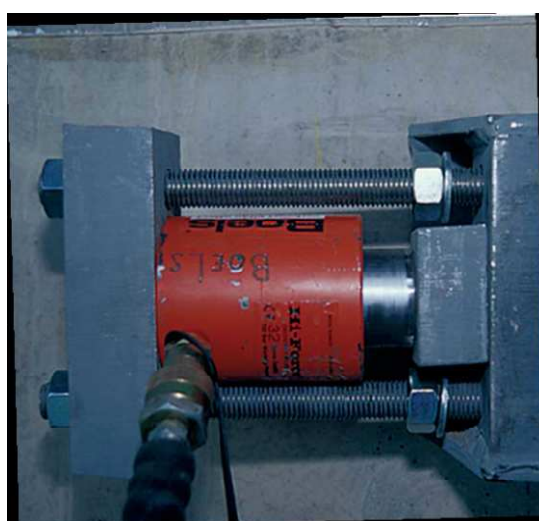


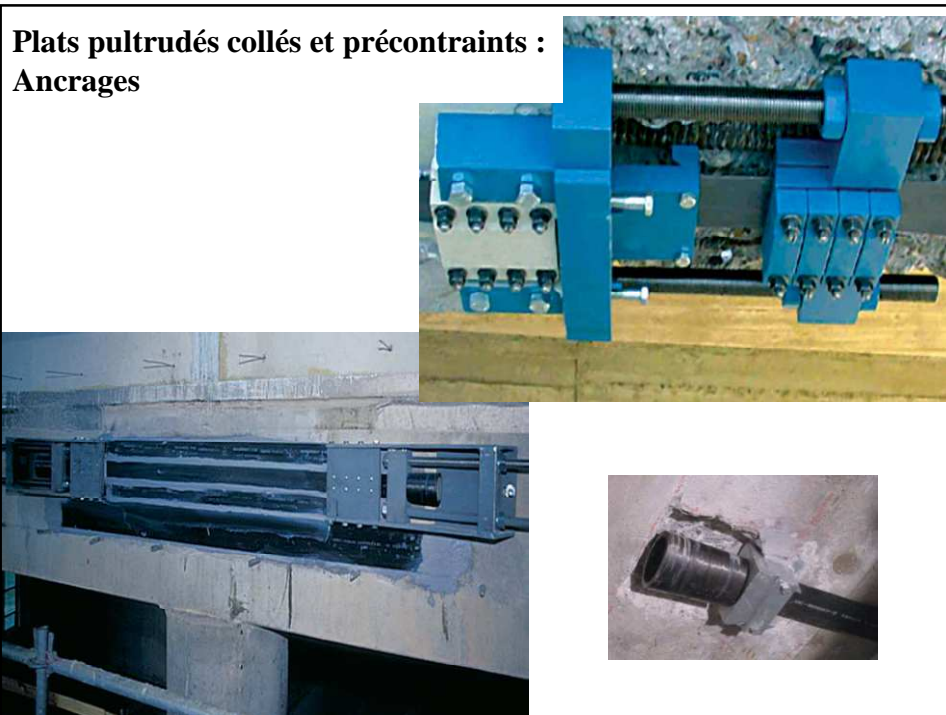


Plats pultrudés collés et précontraints



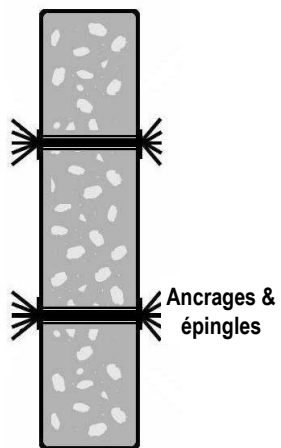
**Plats pultrudés collés et précontraints :
mise en précontrainte**



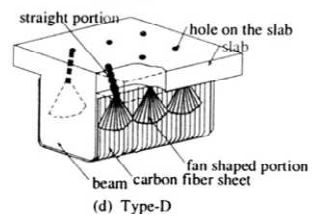


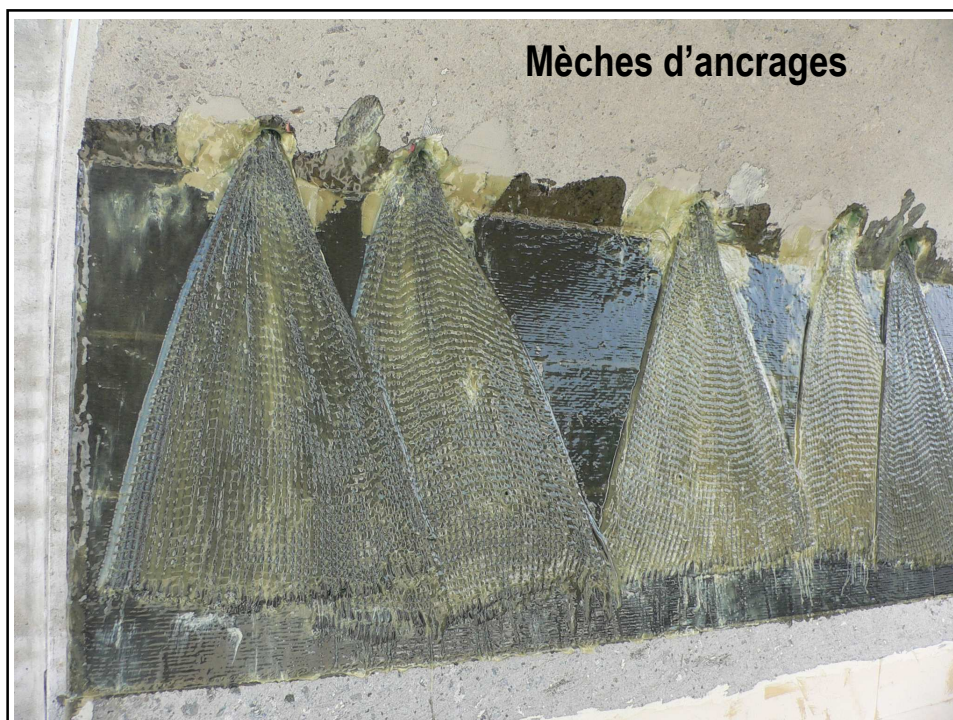


Mèches d'ancrages



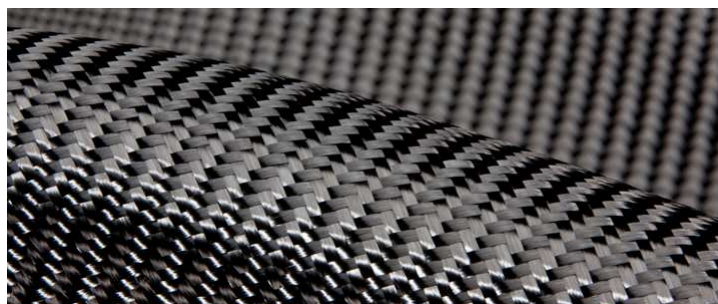
Micro-mèches





Renforcement (réparation)

- d'ouvrages métalliques,
- d'ouvrages en bois,
- d'ouvrages en maçonnerie (dont monuments historiques),
- d'ouvrages en BA.



Renforcement des poutres en acier d'un pont mixte par collage de bandes de PRFC



Renforcement des poutres en acier d'un pont mixte par collage de bandes de PRFC



N.B possibilité de réparation locale par collage de bandes de PRFC
(ex. d'une structure en aluminium)



Poutres de pont en bois renforcées extérieurement à l'aide de bandes de PRFC

SINS CONVERED WOODEN ARCH BRIDGE

Switzerland

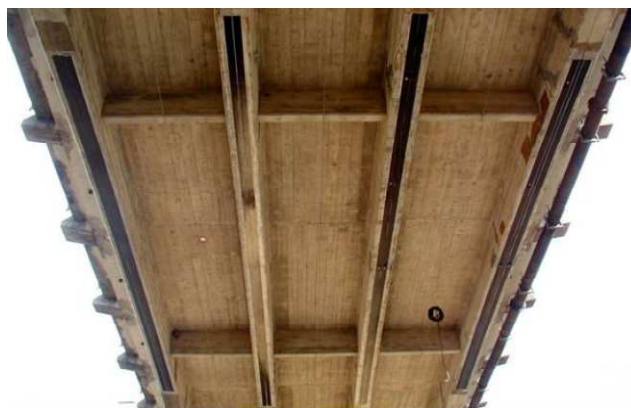
Built 1807 - Rehabilitation 1991-92

Increase Load Capacity for Vehicles

1 mm by 250 mm Wide CFRP Plates Bonded to Transverse Crossbeams

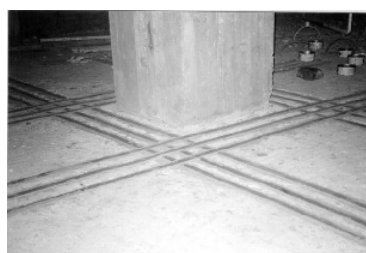


Poutres de pont en Ba renforcées extérieurement à l'aide de bandes de PRFC



Domaines d'application

Flexion 1- plancher



Domaines d'application

Flexion 2- poutre

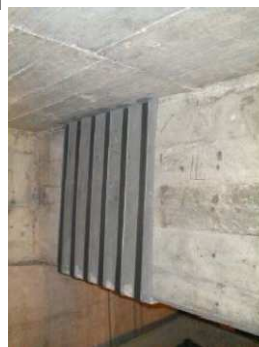


Domaines d'application : petits chantiers



Domaines d'application

Effort tranchant : **poutres**



Domaines d'application

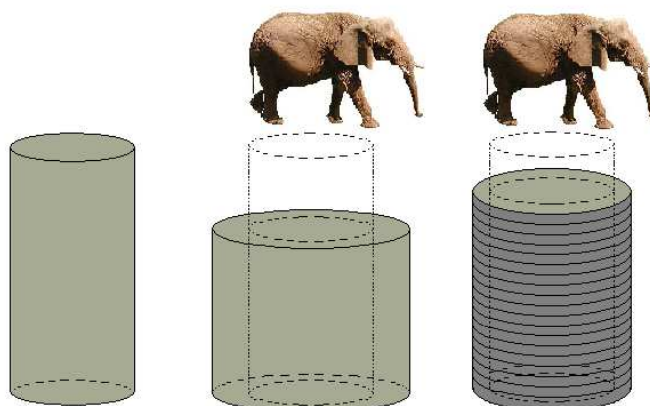
Flexion & effort tranchant : **poutre**



Combinaison lamelle/tissu

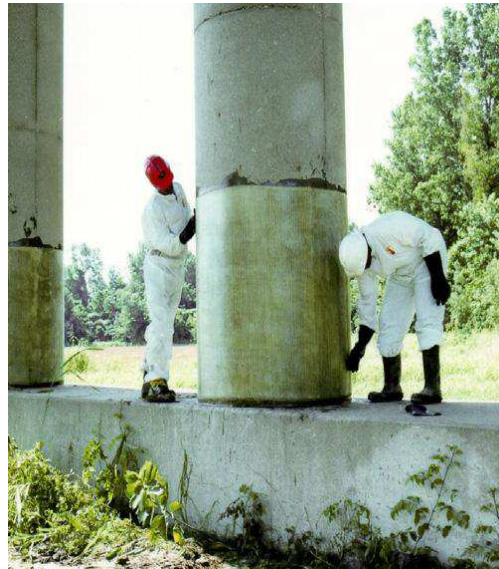
Flexion & effort tranchant : poutre**Domaines d'application : Confinement de poteaux**

Principe de fonctionnement mécanique : Renfort à la compression par confinement de l'élément comprimée



Domaines d'application

Confinement : poteaux



**Confinement :
poteaux**





Exemple OA : Pont Lautaro (Chili), réparation après le séisme de 2010 (source AFGC/Fyfe)



Exemple bâtiment : IGH, siège social de Samsung situé à Singapour. Renforcement de la résistance au cisaillement des poteaux à l'aide de tissus carbone (source AFGC/Mapei)



Ponts de l'autoroute US 87 (Californie - années 90) renforcées en 2005 (fibres de verre) après le décret de mise à jour des charges de trafic en 2004 et la prise en compte de l'augmentation des charges sismiques de dimensionnement.



Aucun dommage identifié suite au séisme d'Alum Rock en 2007 ($M_w=5,6$), le plus fort après celui de Loma Prieta (1989) !!

(source AFGC/Fyfe)

Reconditionnement de l'ancien aéroport d'Athènes (début des années 70) en centre de canoë-kayak pour les Jeux Olympiques d'Athènes en 2004.



L'ouvrage nécessitait un renforcement pour supporter les charges d'exploitation augmentées, et se conformer aux normes sismiques modernes.

Renforcement de nœuds poteau/poutre (1/2)

Bâtiment Galiléo – Caracas - Venezuela

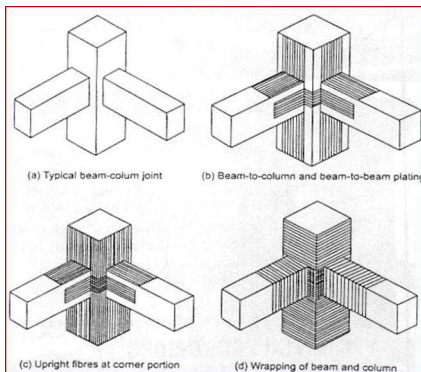
(source AFGC/Sika)



Renforcement de nœuds poteau/poutre (2/2)

Bâtiment à Barranquilla – Colombie

(source AFGC/Sika)



Domaines d'application

mur (voile)



Domaines d'application

ouverture trémiée

a-mur



b-poutre

(source Sika)

c-dalle



Domaines d'application

Création d'accès



(source AFGC/Freyssinet)

Domaines d'application



Domaines d'application

Différents supports



Brique



Bois



Métal



Pierre Naturelle

Domaines d'application

Différents Supports (suite)



Domaines d'application



Cheminée de 140m de la Centrale Electrique à Osceola (USA)
nécessitait un renforcement en flexion à cause des efforts sismiques
élevés recalculés pour la zone (source AFGC/Fyfe)

Domaines d'application



Tours de
Refroidissement

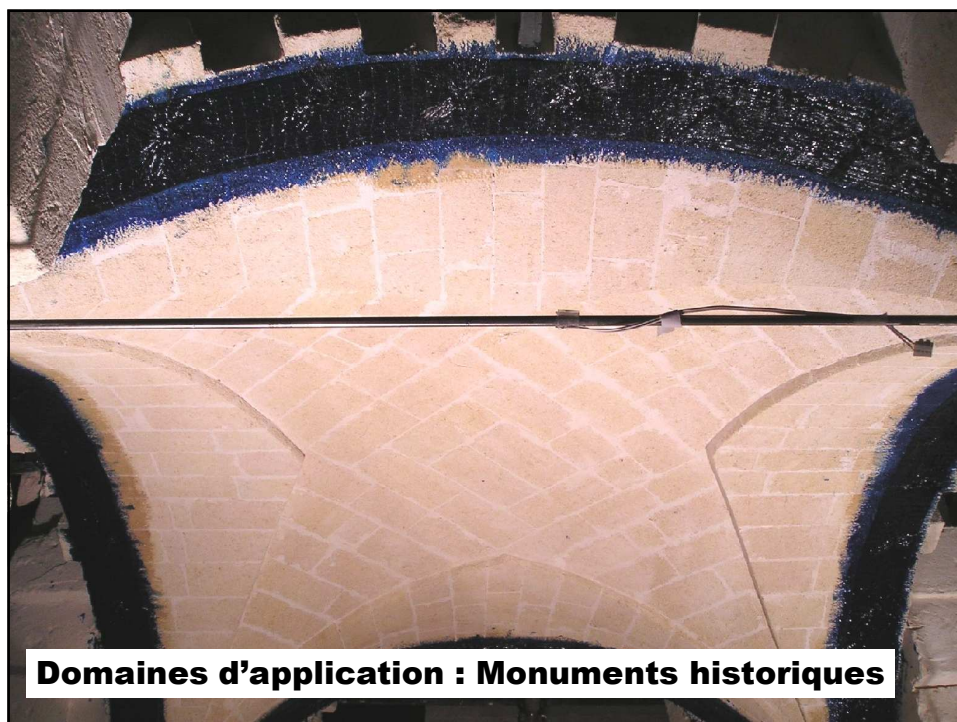
(source Sika)



Domaines d'application



Tours télécom



Domaines d'application : Monuments historiques

Eglise San Bernardino – L'Aquila (IT)



Renforcement du dôme en maçonnerie par tissus de carbone (1000m²) et mèches d'ancrages entre la face interne et externe du dôme (source AFGC/Mapei)



Chantiers de référence

Chantiers de référence (1)

Pont sur l'Huisne
Ville du Mans



Création de la première ligne de tramway

Pont de type VIPP (1976) à double travée de longueur 32 m

Le nombre des voies de circulation va passer de 4 à 5

L'ouvrage est dans l'incapacité de supporter le trafic supplémentaire

Nécessité de renforcer les 4 x 5 poutres post-contraintes

solution classique possible : post-contrainte extérieure ,

• mais... le béton ne peut accepter de compression complémentaire !

Chantiers de référence (1)

Solution de Renforcement

par adjonction de BFUP « BSI® CeraCem® » coulé contre l'âme des poutres en I : augmentation de l'inertie des poutres et reprise de la post contrainte additionnelle

- et association de lamelles Sika CarboDur
 - en sous face
 - en chapeaux de dalle

Intérêt de la solution :

utilisation simultanée de **BFUP** et **Sika CarboDur Lamelles**

1. Éviter la réalisation d'entretoises transversales
2. Sans alourdir la structure existante
3. Permettre les travaux dans le délai imparti

Chantiers de référence (1)



en chapeaux de dalle

en sous face



Chantiers de référence (2)

Viaduc de Toutry (21)
A6 Client Société APRR
Contrôleur LRPC Autun



Chantiers de référence (2)

But du renforcement des poutres longitudinales

- rendre les sections « conformes au règlement BPEL »

En limitant

- la traction du béton
- et l'ouverture de fissures ,
- d'où l'utilisation de Lamelles composites à module d'Elasticité > 165GPa

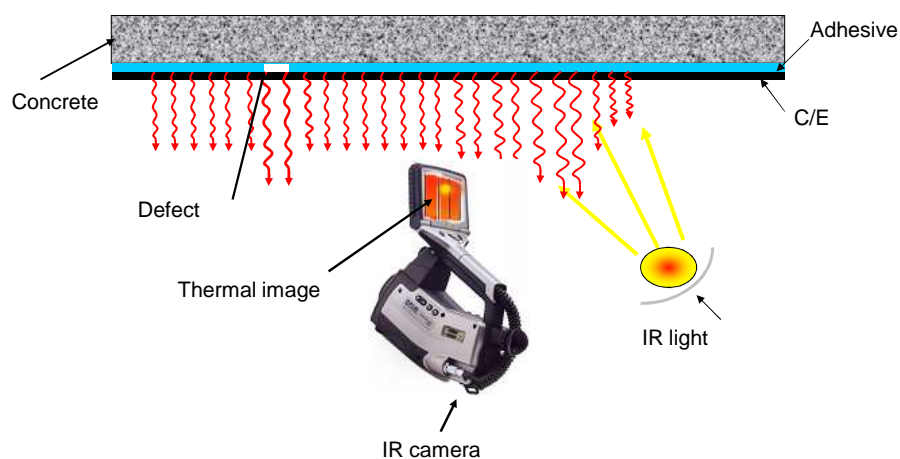
Travaux de renforcement et de protection

- Poutres extérieures : 2 couches de 3 Lamelles CarboDur
- Poutres intérieures : 2 couches de 5 lamelles CarboDur
- Protection par résine méthacrylate Sikagard-680S
- Trafic non interrompu sur ouvrage

Contrôle du collage : caméra



InfraRed Thermography



➔ Develop NDT based on IR Thermography

Chantiers de référence (2) : Contrôle extérieur

Thermographie I.R.



Sollicitation thermique



Défaut de collage

Chantiers de référence (2) : Contrôle extérieur

Essai de pastillage sur planches d'essai

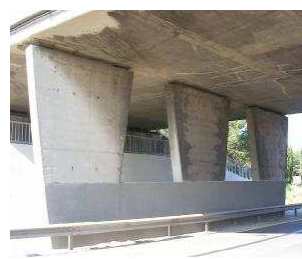


Chantiers de référence (2) : *Vue du chantier terminé*



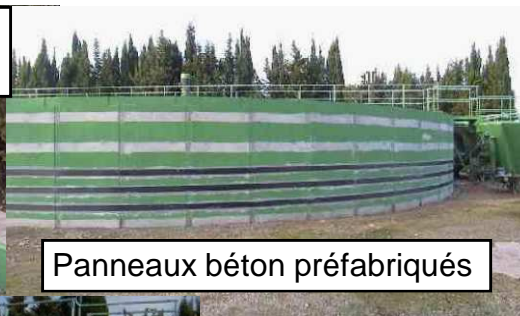
Chantiers de référence (3)

Pile Ponts Escota, Marseille - Renforcement piles / chocs



Chantiers de référence (4)

Station épuration en service pendant le renforcement



Panneaux béton préfabriqués



Protection des lamelles Sika CarboDur vis-à-vis des UV

Chantiers de référence (5)

Station d'épuration
Ouvrage Précontraint



Chantiers de référence (6)



Silos

Chantiers de référence (6)

- Création de trappes de visite pour contrôles réguliers, simples et rapides

- Solutions pour compenser les aciers manquants :

Engravure de barres d'armatures

Précontrainte additionnelle

Lamelles Sika CarboDur

55 m



7 m

Chantiers de référence (6)

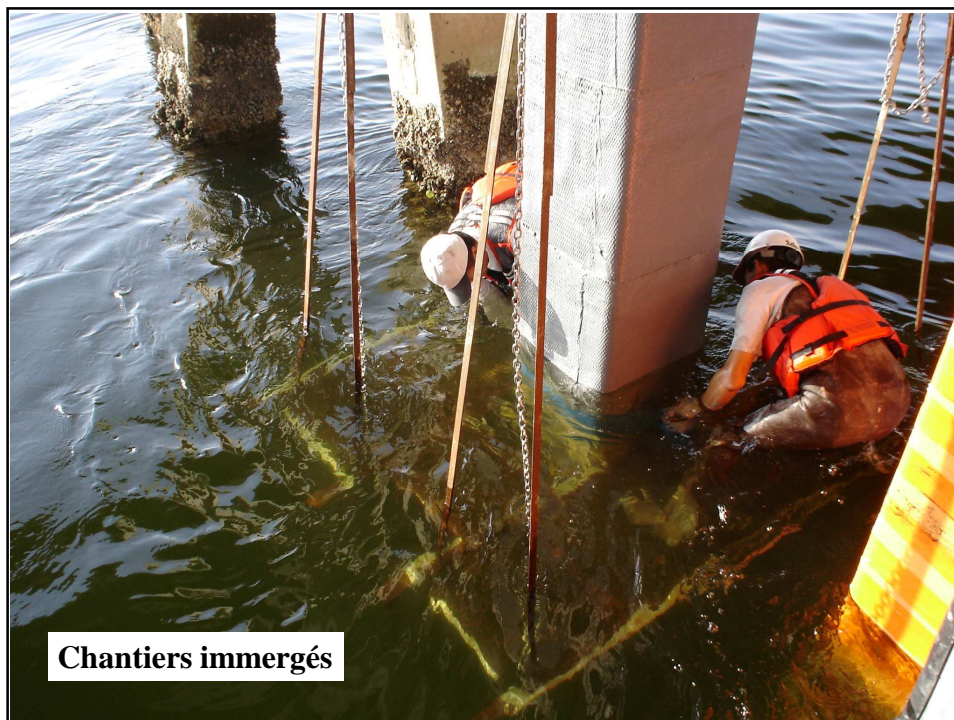


Les silos sont équidistants de 1 m

Accessibilité restreinte



Domaines d'application : perspectives



Chantiers immergés

Grove Isle Bridge (Miami, FL.)



Les piliers rectangulaires en béton ont été réparés avec un tissu de fibres saturés de résine époxy qui a la capacité de durcir dans l'eau salée. Ces colonnes ont été revêtu du sol jusqu'à la chaussée du pont. Des plongeurs ont effectués ces travaux sur 18 des colonnes. (source Fibwrap)



QUELQUES REFLEXIONS SUR LE D.D.

- ☞ Matériaux présentant généralement un fort impact environnemental
- ☞ Bonnes performances de l'ACV (gain de masse, facilité de mise en œuvre en GC,...)
- ☞ Émergence des AgroComposites (un des composants est biosourcé)

-Matrice (Acide polylactique « bioplastique »,...)

-Les fibres

Des poils séminaux des graines (ex: coton)

Des tiges de plantes (ex: lin, chanvre, jute)

Des feuilles (ex: sisal)

De l'enveloppe des fruits (ex: noix de coco)

78