



Cerema



IFSTTAR



Expérimentation de la poutre du VIPP de Clerval



Christophe Aubagnac et Adrien Houel

Cerema - Direction Territoriale Centre-Est

Contexte particulier de la gestion des Viaducs à travées Indépendantes en Poutres Précontraintes (VIPP)

Ouvrages de « première génération » (< 1970) : foi aveugle en la « précontrainte totale » et croyance en la parfaite étanchéité d'un béton comprimé.

Dans la réalité :

- aléa « **corrosion de la précontrainte** » pouvant avoir un niveau élevé, avec un **caractère aléatoire, sans défaut apparent**,
- **vulnérabilité** pouvant être grande de certains ouvrages (faiblesse des aciers passifs, risque de rupture...)

Ainsi, cette **famille de ponts** est **très difficile à gérer**, en l'**absence de moyen de diagnostic fiable permettant d'évaluer la précontrainte résiduelle de l'ouvrage** et son évolution.



Contexte Composites

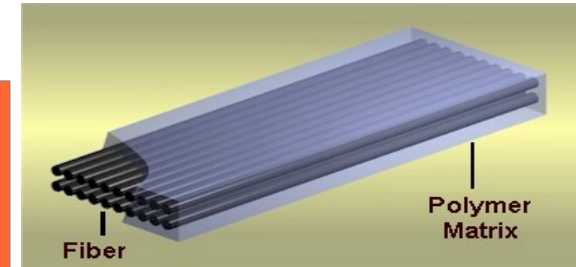
Collage en Génie Civil

Depuis 15 à 20 ans en France, développement de l'utilisation du collage structural et des matériaux composites dans le domaine du Génie Civil :

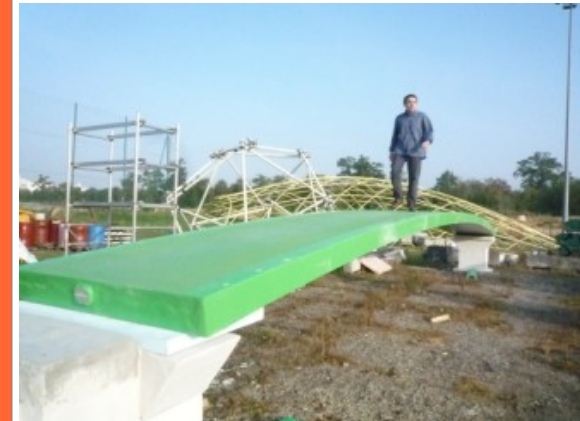
- * Réparation
- * Renforcement de structures existantes
- * Adaptation de structures existantes à l'évolution des besoins, à de nouvelles utilisations ou de nouvelles réglementations
- * Réalisation d'éléments de structures plus durables
- * Développement de nouveaux concepts structuraux...

Adapté aux objectifs du Développement Durable:

- * Augmentation de la durée de vie des structures
- * Économie des ressources
- * Sécurité des usagers...



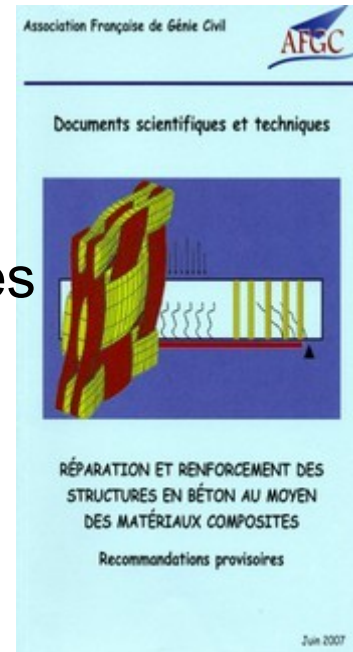
Un composite



Contexte VIPP / Composites collés

Le renforcement des VIPP fait appel à une panoplie de techniques classiques (précontrainte additionnelle, adjonction d'armatures passives, béton projeté ou coulé...), auxquelles se sont rajoutés depuis quelques années les **matériaux composites collés**.

Cependant **de nombreuses interrogations existent encore**, notamment sur le fonctionnement d'une structure en Béton Précontraint renforcée après ouverture de fissures, sur le comportement des renforts collés au droit des fissures...



Objectifs du projet « Clerval »

* **Projet d'expérimentation** visant à :

- l'**amélioration des techniques et matériels d'auscultation, des méthodes d'interprétation, des outils de modélisation et de calcul des VIPP** essentielle pour mener à bien une ré-évaluation pertinente de leurs performances,
- la **meilleure connaissance du fonctionnement mécanique des structures en Béton Précontraint renforcées par matériaux composites collés** (dans le cas d'espèce, des structures pré-endommagées).

* Il prévoit de **solliciter** dans un premier temps une **poutre VIPP en flexion, en alternant les phases de chargement et de renforcement et en menant les essais jusqu'à rupture.**

Le VIPP de Clerval sur le Doubs

Valorisation du corps d'épreuve récupéré par le DL Autun en 2002 lors de la démolition de l'ancien pont de Clerval :

Année : 1952 - 1954

Longueur : 30 m - Hauteur : 1,30 m

20 + 1 câbles 12 phi 5 mm STUP Freyssinet

Défauts d'étanchéité

Corrosion des câbles

2 fissures de flexion ($\leq 0,2$ mm)
(sections dénommées S2 et S4)



AUTUN

Un banc d'essai exceptionnel
au Laboratoire des Ponts et Chaussées

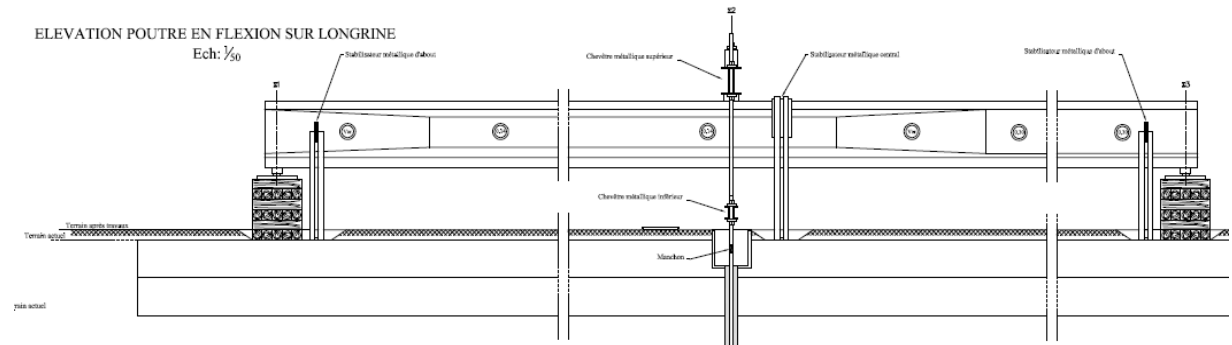


Programme de l'opération

1 - Construction de la plateforme de chargement et préparation de la poutre (novembre 2013)

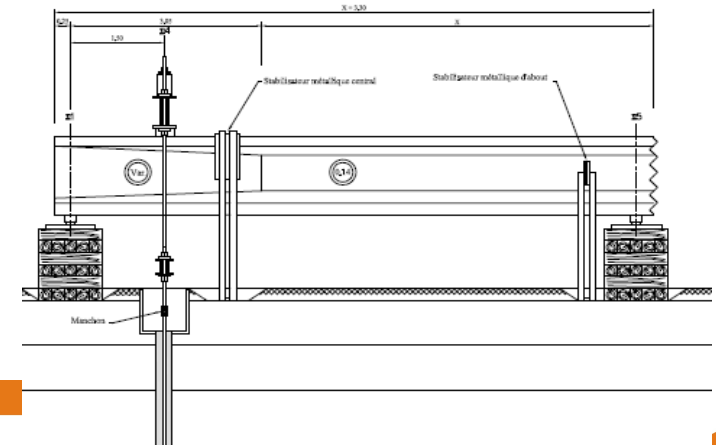
2 - Diagnostic de la poutre (mi-2012 à mi-2014)

3 - Préparation et essais de la poutre en flexion
(avril à octobre 2014)



4 - Préparation et essais du tronçon n°1 "au tranchant" (2015)

5 - Préparation et essais du tronçon n°2 (si possible) "à l'équilibre du coin"



Avancement du projet en photos

Construction de la plateforme de chargement, travaux préparatoires sur la poutre (11/2013)



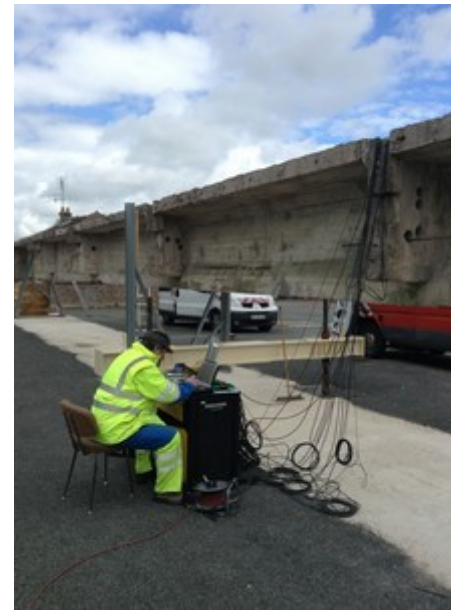
Quelques photos

Transport, installation, équipement de la poutre (04 et 06/2014)



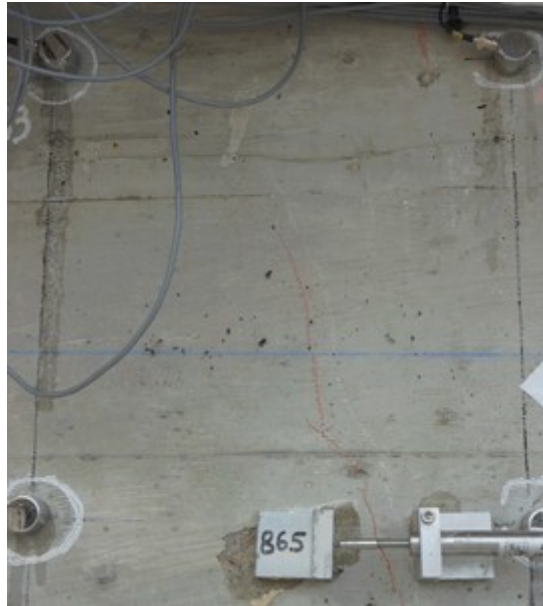
Quelques photos

Investigations, caractérisation de la poutre



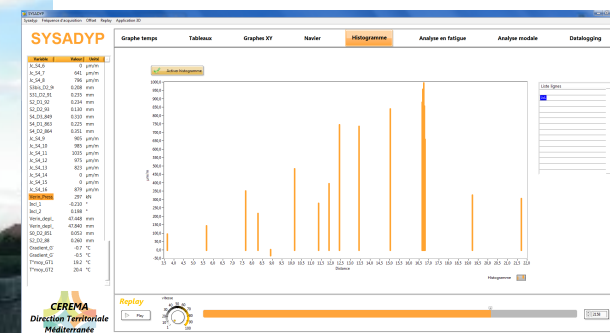
Quelques photos

Instrumentations de la poutre



Systeme d'acquisition principal

Acquisition, supervision des données



25 centrales PEGASE (200 voies)

260 capteurs au total, 187 capteurs en action le 30/10/2014

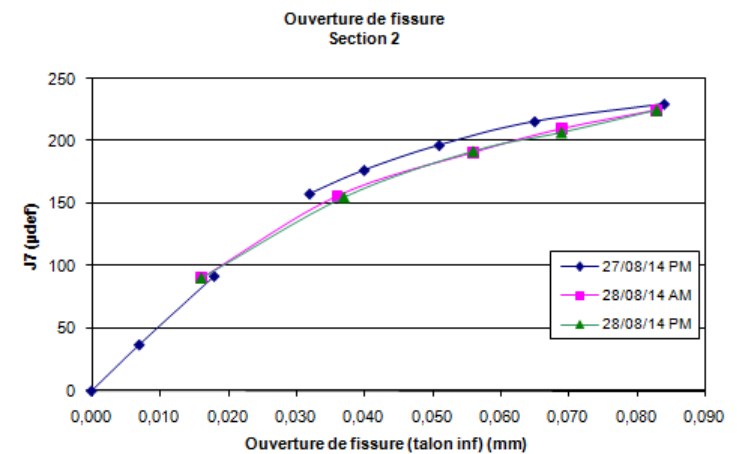
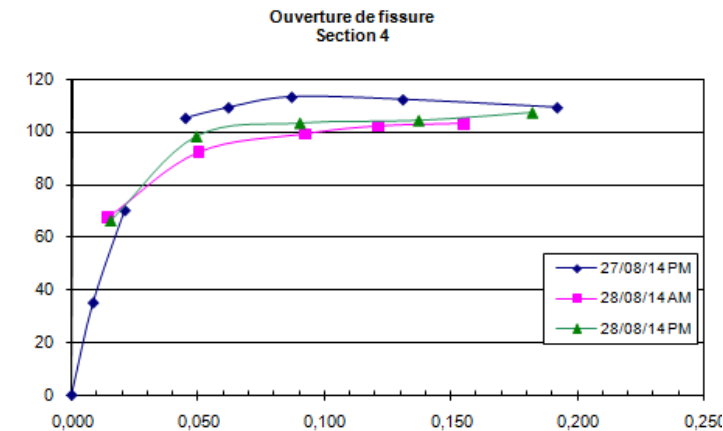
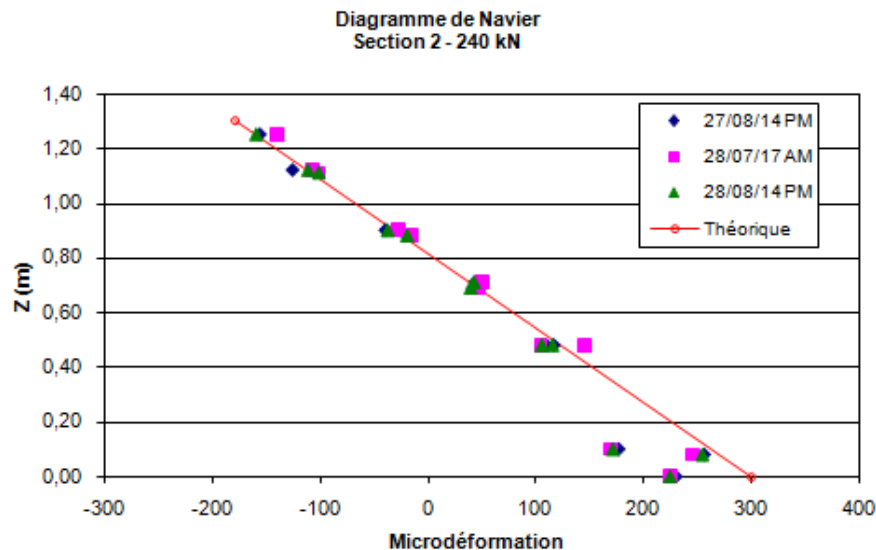
Fréquence d'acquisition 10 Hz

Logiciel de supervision SYSADYP (développé par le Laboratoire d'Aix en Provence)

Les premiers enseignements

* **Avant renforcement** (chargement de « fissuration » à 240 kN) :

- Une section pré-fissurée (S4) perd son monolitisme dès 160 kN et fait l'objet d'une activité acoustique.
- Apparition de nouvelles fissures dans la zone de la section de chargement (S3), visibles à 240 kN.
- Mesures proches des prévisions des calculs.

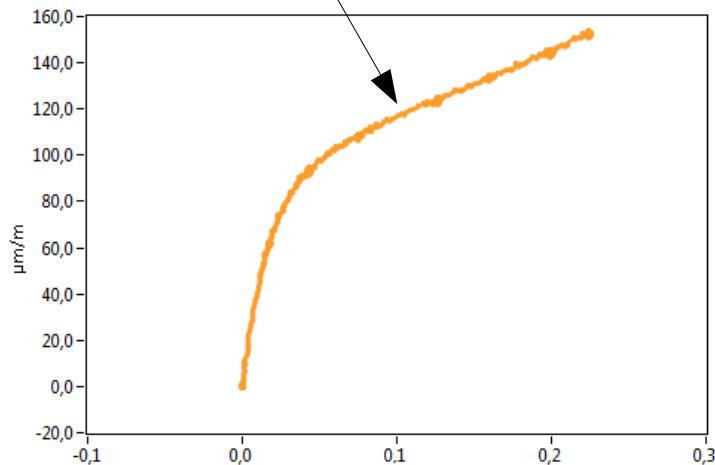


Les premiers enseignements

* **Après 1^{ère} phase de renforcement** (chargement de « fissuration » à 300 kN) :

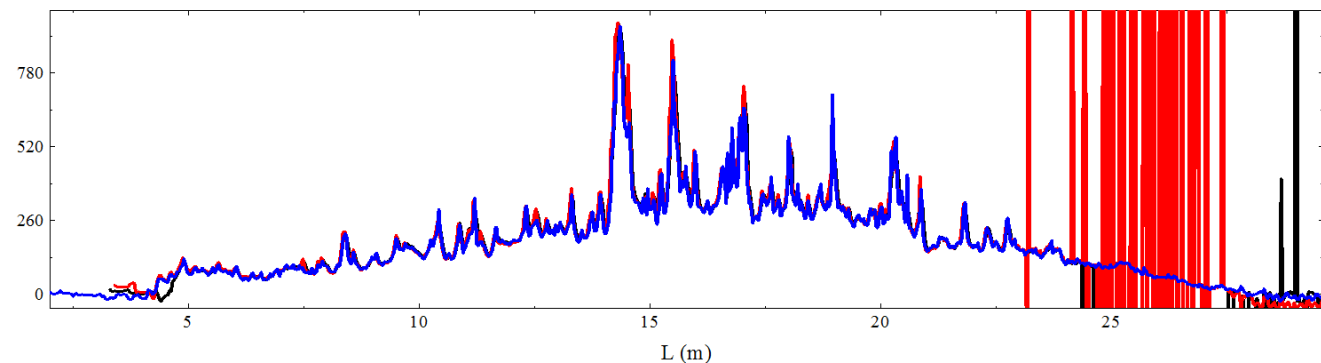
- Les mesures des flèches sont identiques aux flèches « sans renforcement ».
- Les courbes de Navier sont également sensiblement les mêmes.
- Une activité acoustique est détectée dans la zone de la section pré-fissurée S2.

Influence locale des composites sous talon



Ouvverture fissure
S4 sous talon
(mm)

Exemple de suivi de déformations via les fibres optiques entre composites (280 kN)



Les premiers enseignements

* **Après 1^{ère} phase de renforcement** (chargement de « fissuration » à 300 kN) :

Sans renfort

- Sous talon : **0,182 mm**
- Côté talon : 0,173 mm



Avec renforts

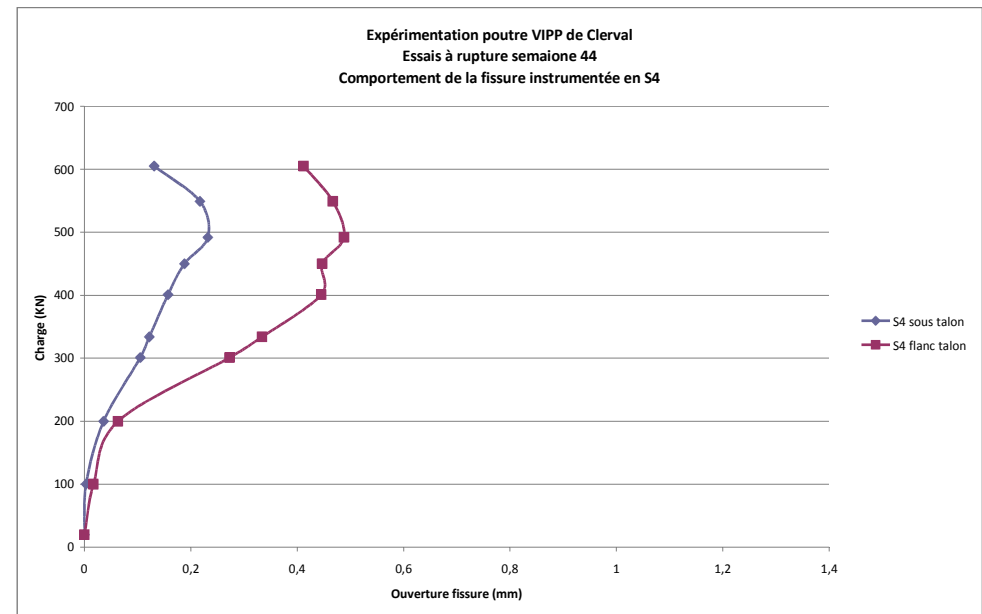
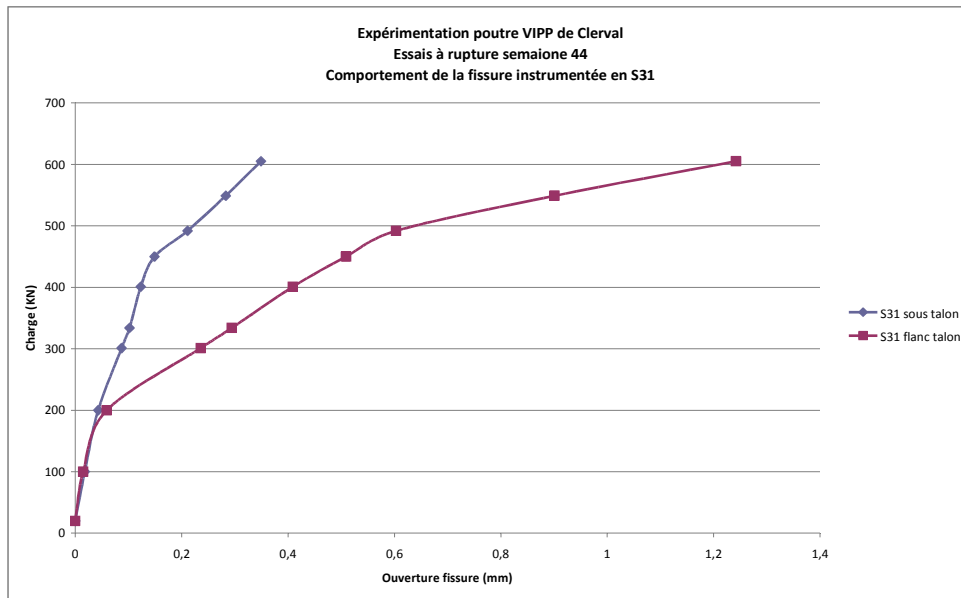
- Sous talon : **0,127 mm**
- Côté talon : 0,175 mm

**Influence locale des
composites au droit
des fissures :
réduction de 30% de
l'ouverture des
fissures sous talon**

Les premiers enseignements

* Après 2^{ème} phase de renforcement :

Les lamelles carbone ont un **effet localement encore plus favorable vis à vis de l'ouverture de la fissuration** : à partir de 200 KN, l'ouverture de fissure sous le talon reste très inférieure (**jusqu'à -68%**) à l'ouverture mesurée sur le flanc de talon.



Ouvertures des fissures en S31 et S4 en fonction de la charge (sous talon / flanc talon)

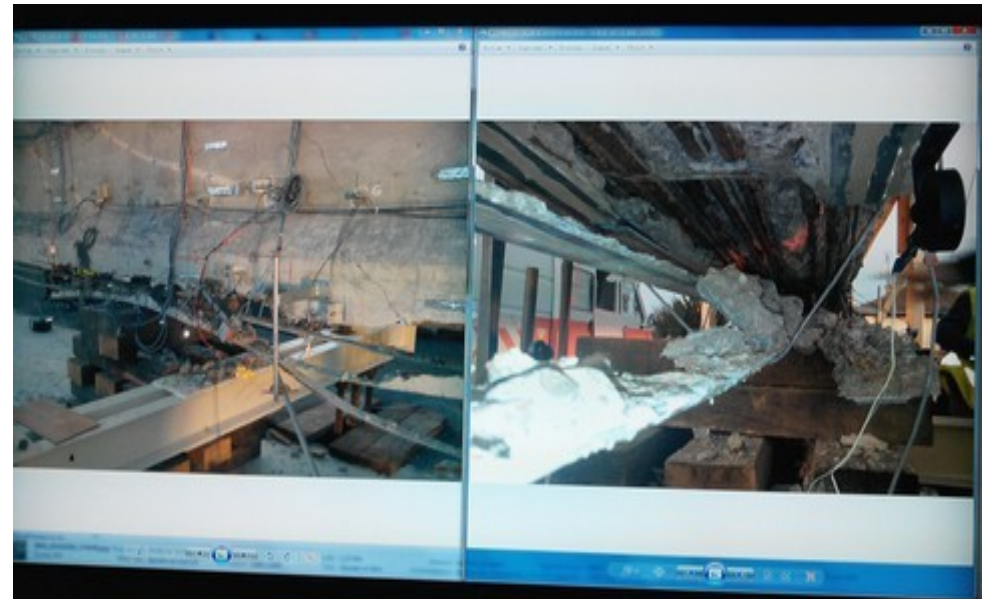
Les premiers enseignements

- * **Après 2^{ème} phase de renforcement = chargement à rupture :**
 - **Etape 1 : Première rupture des renforts composites de première phase par délamination du béton d'enrobage depuis S2 vers S4 (et après rupture d'un ou de plusieurs? câbles). La rupture de la poutre a eu lieu à **614 kN**, correspondant à une flèche de **20,4 cm**. Par la suite, l'effort mobilisé pour le chargement n'a cessé de décroître.**



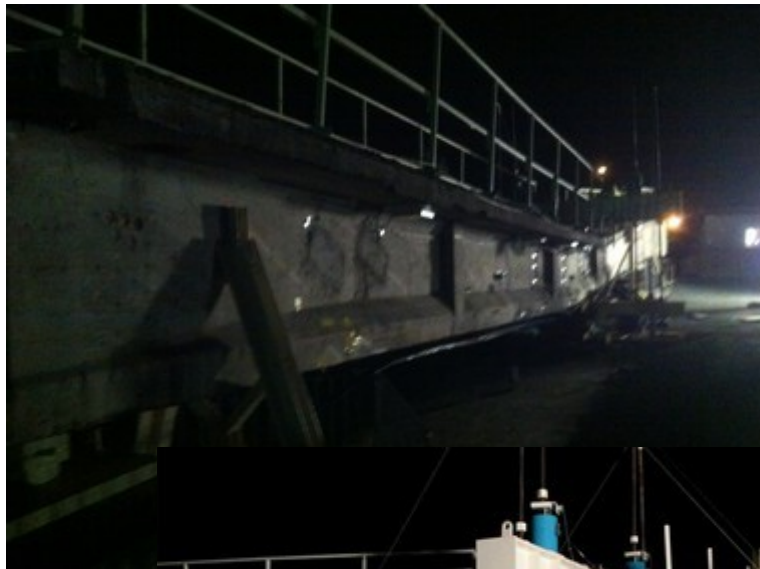
Les premiers enseignements

- * **Après 2^{ème} phase de renforcement = chargement à rupture :**
 - **Etape 2 : Deuxième rupture des renforts composites par délamination du béton d'enrobage et décollement généralisé.**
L'effort est de **588 kN**, correspondant à une flèche de **26,3 cm**.



Les premiers enseignements

- * **Après 2^{ème} phase de renforcement = chargement à rupture :**
 - **Etape 3 : Rupture totale** en section pré-fissurée S2 pour une flèche imposée de l'ordre de **40 cm**.

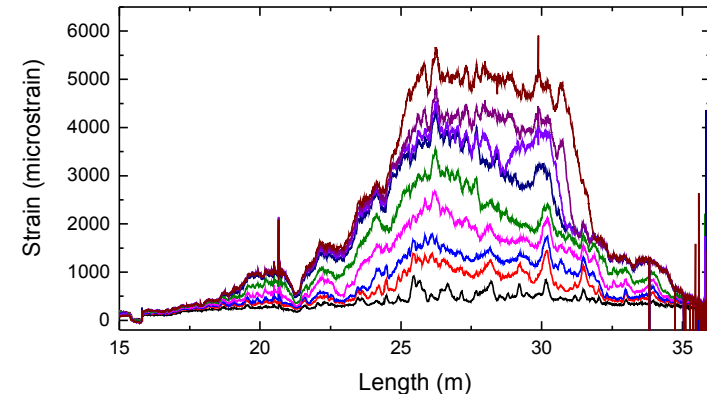


Près de cinquante invités ont assisté, en fin de semaine, à la rupture des 45 tonnes de la poutre du pont de Clerval. Une première en France.

Conclusions

- Malgré de nombreuses auscultations, **toutes les prévisions de rupture par "calculs classiques de flexion en BP" se sont révélées optimistes (difficulté d'évaluer la sécurité structurale)**, cependant:
- La capacité maximale de la poutre a été atteinte pour une **flèche de 20 cm**.
- Les instrumentations mises en oeuvre ont permis de déterminer les changements de comportement de la poutre => **application à la (haute) surveillance des OA.**

Déformations mesurées pour
une fibre optique collée sous
un paquet de lamelles pultrudées



- **Les renforts composites ont :**
 - **maîtrisé l'ouverture de fissures existantes et mieux réparti la nouvelle fissuration au cours du chargement;**
 - **augmenté la résistance en flexion de la poutre en BP endommagée.**

Contributeurs

Prise en charge financière des achats de matériels et des travaux : ASFA

Pilotage et contribution de la DTer CE du Cerema (DL Autun et DL Lyon) (MOe études et travaux, instrumentations, calculs plateforme et calculs « élastiques »...)

Implication :

- * **de la DTer Méditerranée** : logiciel superviseur des instrumentations et compatibilité système PEGASE, courburemètrie (prototype « invar »),
- * **de la DTer Nord Picardie** : mesures à l'arbalète, courburemètrie, calculs et modélisations sous ST1 en flexion avec sections fissurées,
- * **de la DTer Est** : suivi de déplacements par théodolite motorisé,
- * **de la DTec ITM** : calculs et modélisations 3D sous ASTER, notamment « à l'effort tranchant »,
- * **de l'Ifsttar** département **MAST** : émission et surveillance acoustiques, fibres optiques, gestion administrative des marchés.



IFSTTAR



Merci de votre attention

Christophe Aubagnac – Cerema DTer CE DL Autun

03 85 86 67 02 ; Christophe.aubagnac@cerema.fr

Adrien Houel – Cerema DTer CE DL Lyon

04 72 14 32 22 ; adrien.houel@cerema.fr

<http://www.centre-est.cerema.fr/rupture-experimentale-d-une-poutre-de-pont-a603.html>

