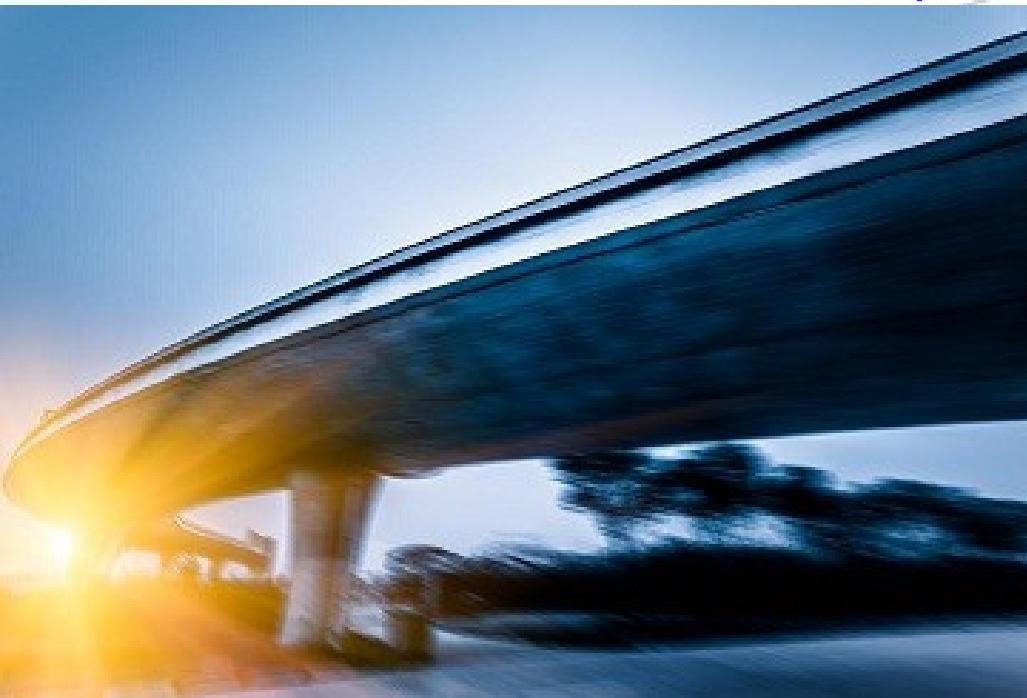


Rencontres Ouvrages d'Art – 20 juin 2019

PRAD de Pontcharra (Nouveau Rhône) – Réparation par précontrainte additionnelle avec matériaux composites tendus



Cerema Centre-Est – Lyon

François Spataro, Pascale Taton,
Nicolas Grignard, Michel Valade

Cerema Centre-Est – Autun

Jérémy Roth, Corentin Le Roy

Cerema Méditerranée – Aix

Amaury Herrera, Jean-Marc Calissano,
Rémy Guigues

*Direction interdépartementale des
routes Centre-Est*

Raphaëlle Sadone

Sommaire

Présentation

Première études

Solution de réparation

Calculs

Travaux

Instrumentation

Mesures

Conclusions et perspectives

Ouvrage RN7-PI4 de Pontcharra

Maître d'ouvrage gestionnaire :
DIR Centre-Est

Construit : en 1993-1994

Voie portée : RN7

Voie franchie : RD27

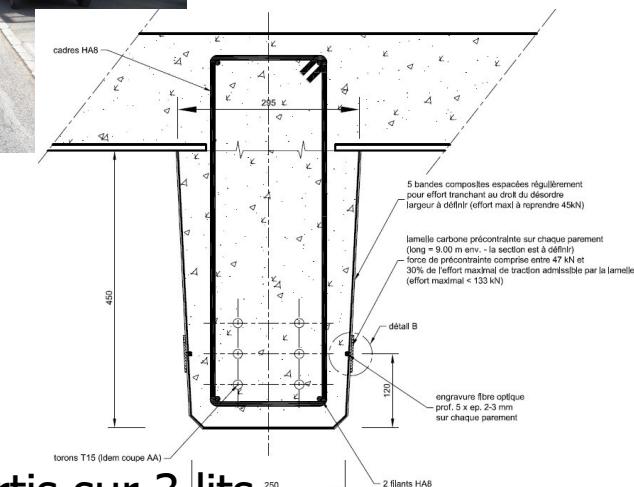
Longueur du tablier : 11,75 m

Largeur : 17,74 m

Biais : 95 grades

Tablier : 28 poutres précontraintes par adhérence
(PRAD – 0,25 x 0,45 m environ) et hourdis de 0,19 m

Précontrainte (par poutre) : 6 torons TBR de type T répartis sur 3 lits



Ouvrage RN7-PI4 de Pontcharra

Ouvrage endommagé suite à un choc d'un véhicule hors gabarit, en juin 2010 (constatations de l'équipe d'inspection du laboratoire) :

- Éclat sur corniche avec aciers apparents
- Écaille sur la poutre P4 (affleurement de 1 cm env.)
- Aciers passifs apparents dont certains cassés (2 filants Φ 8 mm et 2 étriers)
- Aciers actifs apparents dont un toron légèrement dévié



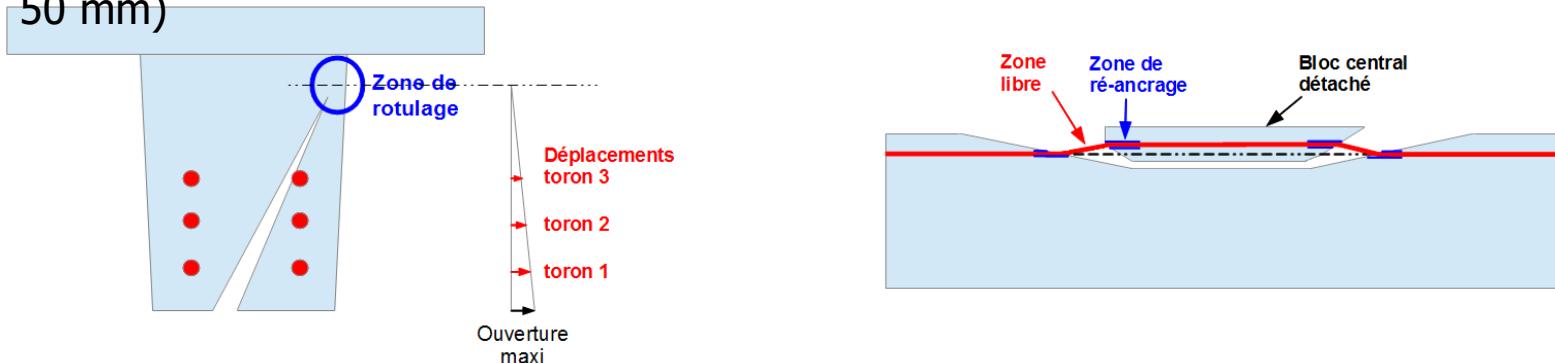
Premières études

Comportement de la poutre pendant le choc et dans son état dégradé :

- Ouvrage à vide avant le choc (détermination de la précontrainte résiduelle)
- Ouvrage après le choc (prise en compte d'une fissure ouverte de 10 mm en face inférieure de la poutre)
- Ouvrage lors du choc (trois hypothèses : ouverture dynamique de la fissure de 20, 30 ou 40 mm)

Définition des tensions lors ou après le choc :

- Déplacement horizontal déterminé en considérant une rotule au sommet de l'écaille
- Allongement des torons défini géométriquement en tenant compte des parties désolidarisées du béton et des longueurs de ré-ancrage (trois hypothèses : 0, 25 ou 50 mm)



Premières études

Comparaison des tensions calculées avec la limite élastique de l'acier des torons (« valeur garantie ») éventuellement augmentée de 5 ou 10 % :

Configuration étudiée	Ouverture maximale	Augmentation de la limite élastique	Longueur de ré-ancrage	Nombre de torons plastifiés	Perte de précontrainte pour la poutre
Actuelle, après choc	10 mm	non	aucune	0	non
Choc 20 mm	20 mm	non	aucune	0	non
Choc 30 mm	30 mm	5 %	25 mm	0	non
Choc 30 mm	30 mm	non	aucune		3 %
Choc 40 mm	40 mm	10 %	50 mm	3	3 %
Choc 40 mm	40 mm	5 %	25 mm	3	10 %

Conclusions :

- Pour les hypothèses plausibles (ouverture de 30 mm max) : torons faiblement plastifiés ou maintenus dans le domaine élastique
- Dans le cas le plus pessimiste : perte de précontrainte de l'ordre de 10 %
=> perte de précontrainte réelle (s'il y a) acceptable pour la poutre et sans conséquence pour le tablier

Solution de réparation innovante

Mise en place d'une précontrainte additionnelle par matériaux composites :

- procédé mettant en œuvre des lamelles préfabriquées en polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC)
- technique appliquée depuis 1999, principalement en Suisse
- Avantages annoncés par les fabricants et les poseurs :
 - Rapidité et facilité de mise en œuvre (composants plus légers, blocs d'ancrage de taille réduite)
 - Insensible à la corrosion
 - Économie (voir les deux points précédents)
- Procédé innovant pour la France : seul un pont a été renforcé avec cette technique à la fin 2016 (pont de Semuy – Ardennes – RD25)

Nota : L'étude Cerema s'est faite fin 2015 – début 2016



Crédit photo : Le Moniteur

Calculs

Résultats des calculs :

- Effort de précontrainte à exercer dans les lamelles :
 $F_{\min} = 44 \text{ kN} (\sigma = 458 \text{ MPa}) < F < F_{\max} = 140 \text{ kN}$
- Prise en compte des recommandations issues des expérimentations et de la littérature :
 - limitation du niveau de précontrainte entre 20 % et 40 % de l'effort maximal de la lamelle (limitation fixée à 30%)
 - Soit : $44 \text{ kN} < F < 78 \text{ kN}$
- Ancrage de la précontrainte : 2 barres de précontrainte $\Phi 30 \text{ mm}$
- Diffusion de la précontrainte : 2 bandes de composites collés ($I = 0,15 \text{ m}$) et ancrés dans la partie supérieure de la poutre

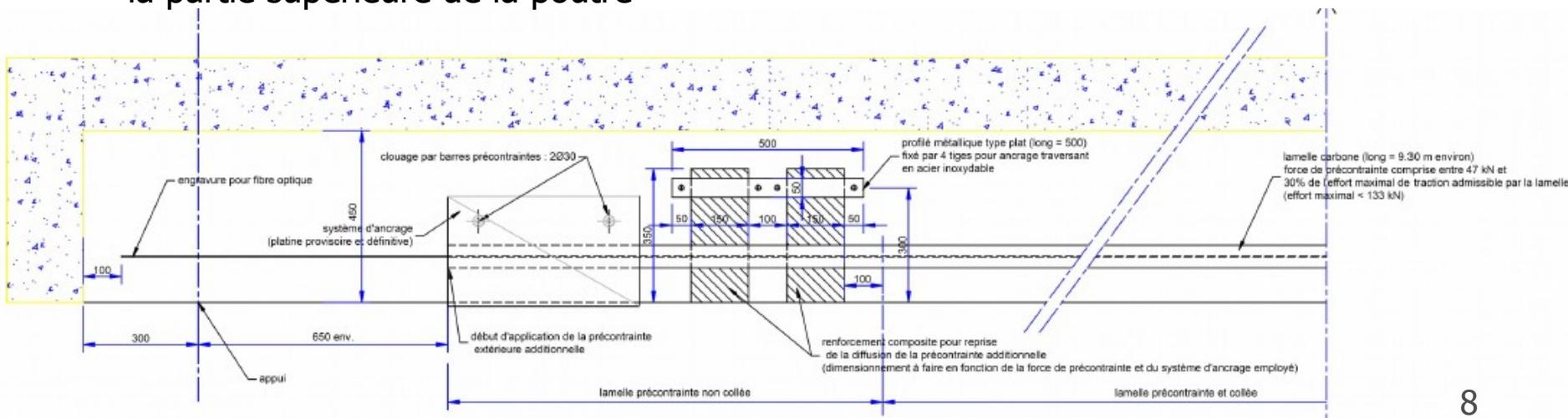


Schéma de principe de renforcement vis-à-vis de la diffusion

Travaux réalisés

Reconstruction de la poutre :

- Hydrodémolition
- Reconstitution avec un micro-béton

Mise en place des étriers (ancrage de la précontrainte)

Mise en œuvre des composites de reprise d'efforts

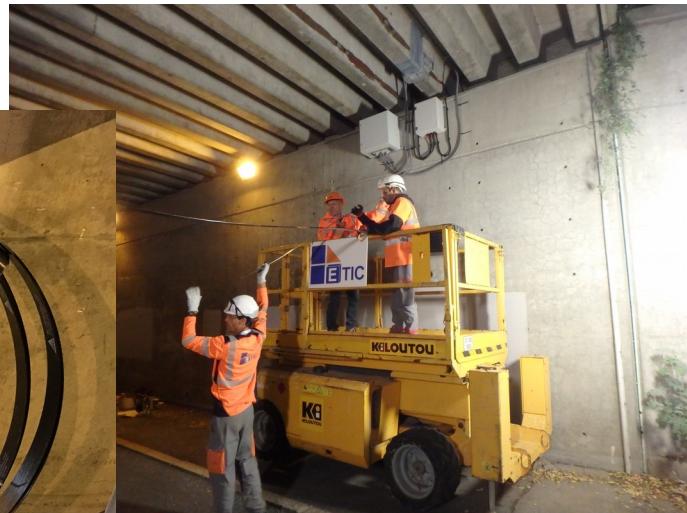
tranchants (au-droit de la partie reconstituée)

Mise en œuvre des renforcements vis-à-vis de la diffusion de la précontrainte



Travaux réalisés

Mise en place des lamelles
non collées sur la poutre



STRESSHEAD AG
INNOVATIVE BAUWERKSVERSTÄRKUNG

Mise en œuvre de
la précontrainte

 **Sika**[®]
BUILDING TRUST



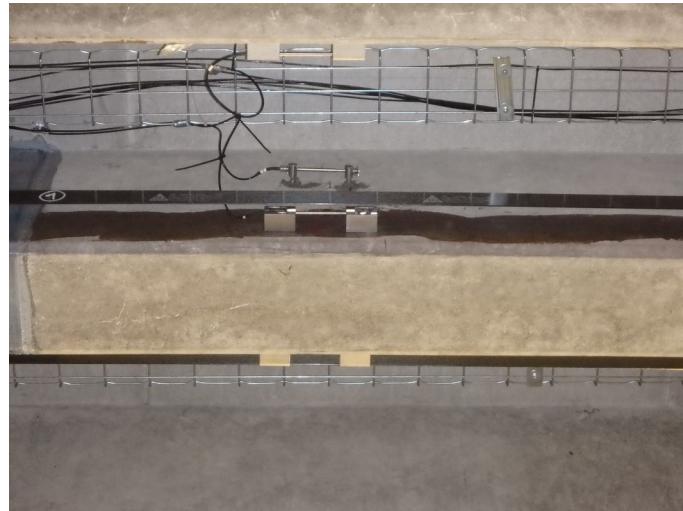
Instrumentation

But de l'instrumentation :

- Suivi de la mise en tension
- Mesures lors de l'épreuve de chargement
- Suivi de l'efficacité de la précontrainte dans le temps

Instrumentation « ponctuelle (locale) » :

- 10 extensomètres à fibre optique fixés par goujons sur deux poutres
- 6 jauge de contraintes à fibre optique collées sur les lamelles tendues
- 3 sondes de température scellées dans deux poutres



Instrumentation « répartie » :

- 2 fibres optiques distribuées sur la poutre P4
- 1 fibre optique distribuée sur la poutre P5



Instrumentation

Fibre optique distribuée

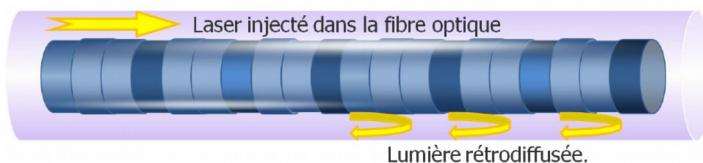
Choix de la technologie Rayleigh :

Pas de mesure faible : sub-centimétrique
Résolution de mesure $1\mu\text{m}/\text{m}$



Fonctionnement :

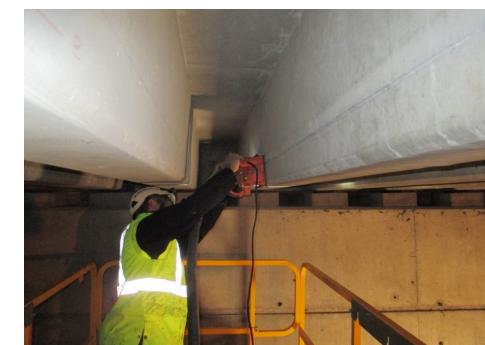
Etude du spectre de la lumière rétro diffusée dans la FOD
Elaboration et suivi de la cartographie des défauts de diffusion de la lumière
Détermination d'une déformation relative



Chantier test : possibilité de suivi périodique sur le long terme ?

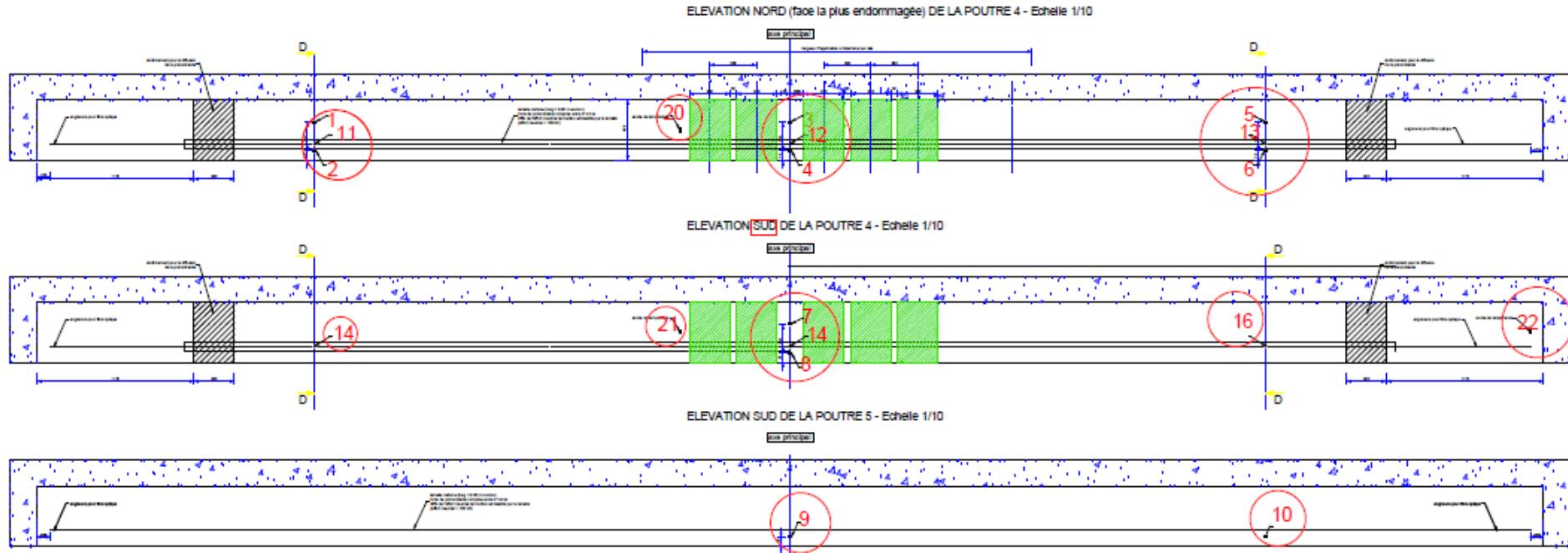
Instrumentation :

Collage dans une rainure
2 FOD sur poutre 4 et 1 sur poutre 5



Instrumentation

Instrumentation :



Légende :

- 1 à 10 : extensomètres à fibre optique fixés par goujons sur poutre
- 11 à 16 : jauge de contrainte à fibre optique collées sur les lamelles tendues
- 20 à 22 : sondes de température

Mesures lors de la mise en tension

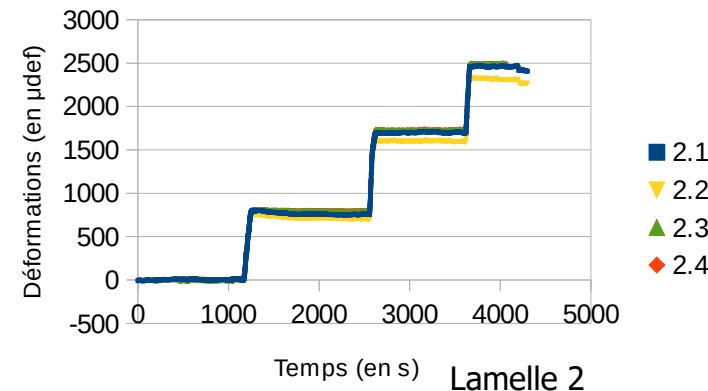
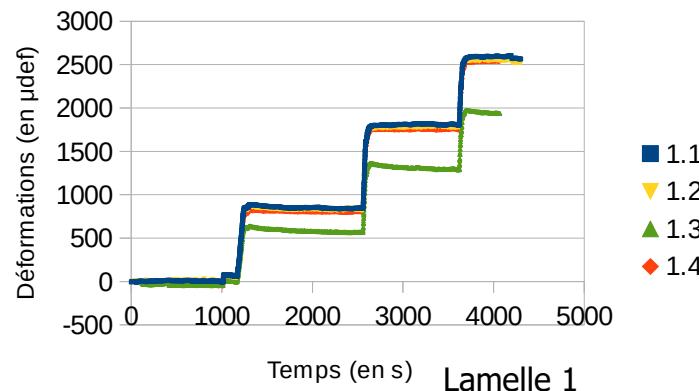
Mise en tension en 3 paliers :

- Palier 1 : 23 kN (35 % de la contrainte finale)
- Palier 2 : 47 kN (70 %)
- Palier 3 : 70 kN (100 %)

Mesures sur les lamelles tendues (laboratoire d'Autun) :

- Déformations mesurées très proches des valeurs théoriques pour tous les paliers (2560 μdef [lamelle 1] et 2486 μdef [lamelle 2] pour une déformation théorique de 2594 μdef au palier 3)
- Dispositif adapté pour le suivi de la mise en tension

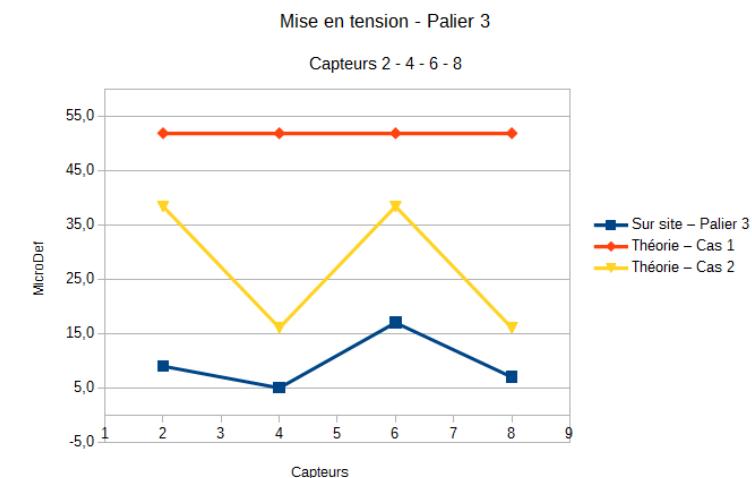
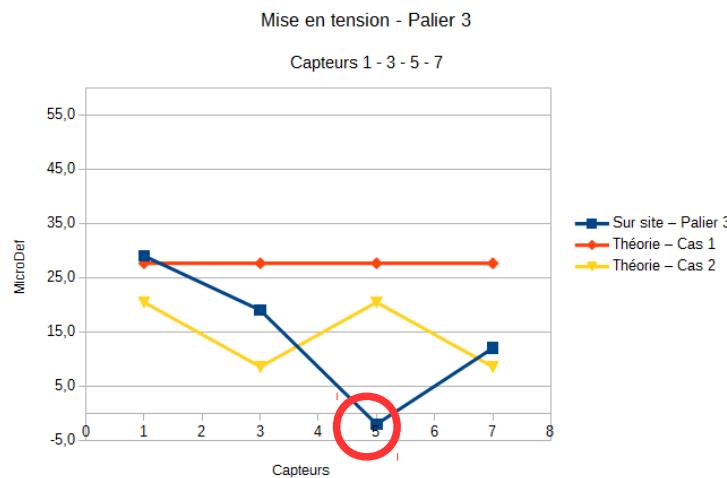
Nota : le dispositif n'est pas, par contre, adapté pour le suivi des déformations pour les épreuves de chargement (faible niveau de sollicitations)



Mesures lors de la mise en tension

Mesures ponctuelles sur les poutres (laboratoire de Lyon) :

- Comparaison entre les mesures de déformation sur site et les valeurs théoriques issues de deux hypothèses :
 - cas 1 : l'intégralité de l'effort de précontrainte n'impacte que la poutre n°4,
 - cas 2 : l'effort de précontrainte se diffuse à 30° à travers le hourdis,
- Diffusion de la précontrainte dans le hourdis avérée mais difficile à appréhender
- Dispositif permettant de constater la montée en compression mais peu précis (disposition des capteurs à reconsidérer ? Type de matériels?)



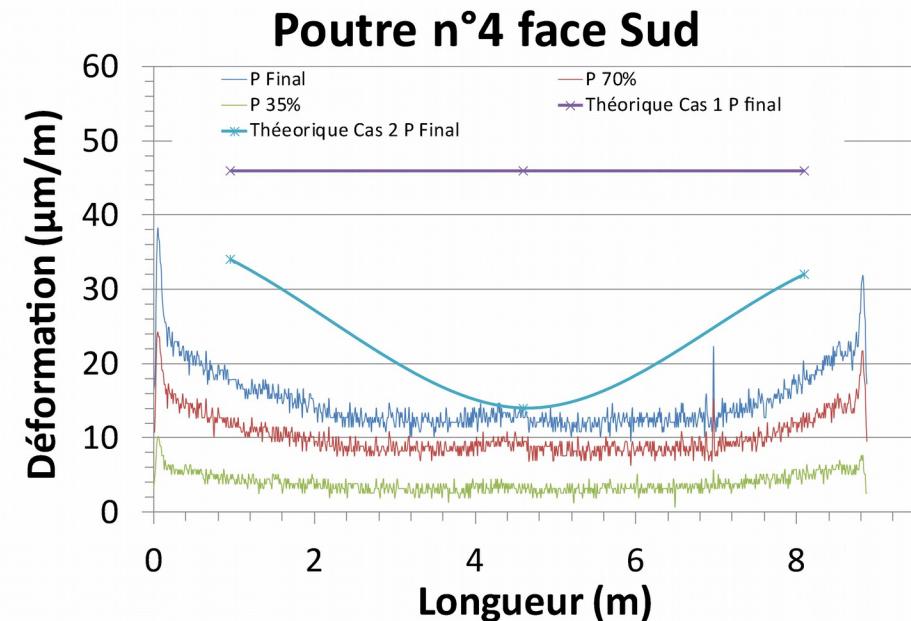
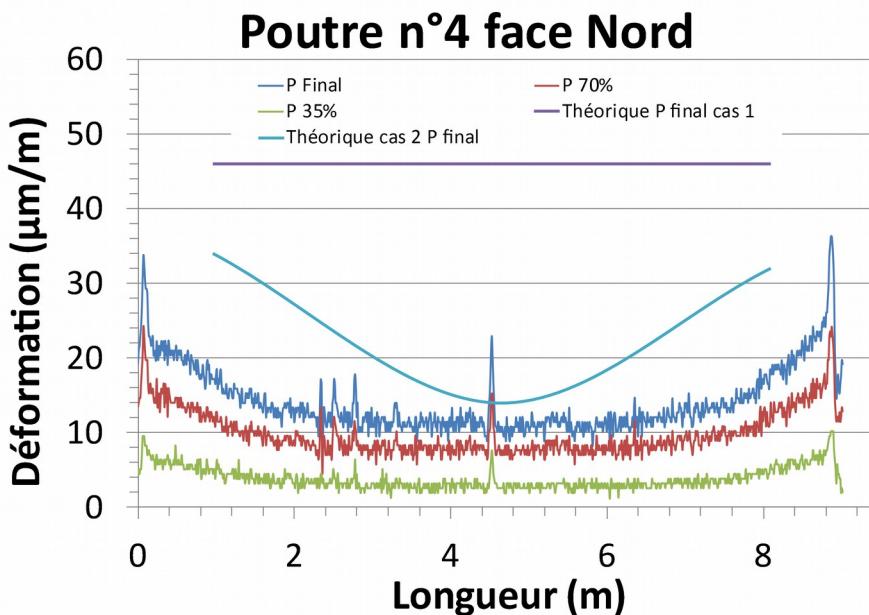
Déformations mesurées sur les capteurs placés en haut de la poutre P4
[dysfonctionnement du capteur 5]

Déformations mesurées sur les capteurs placés en bas de la poutre P4

Mesures lors de la mise en tension

Mesures réparties sur les poutres (laboratoire d'Aix) :

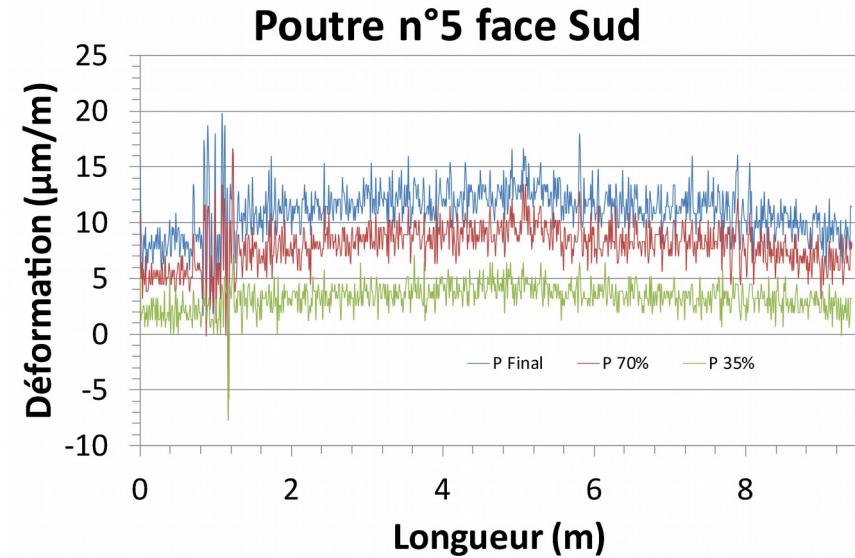
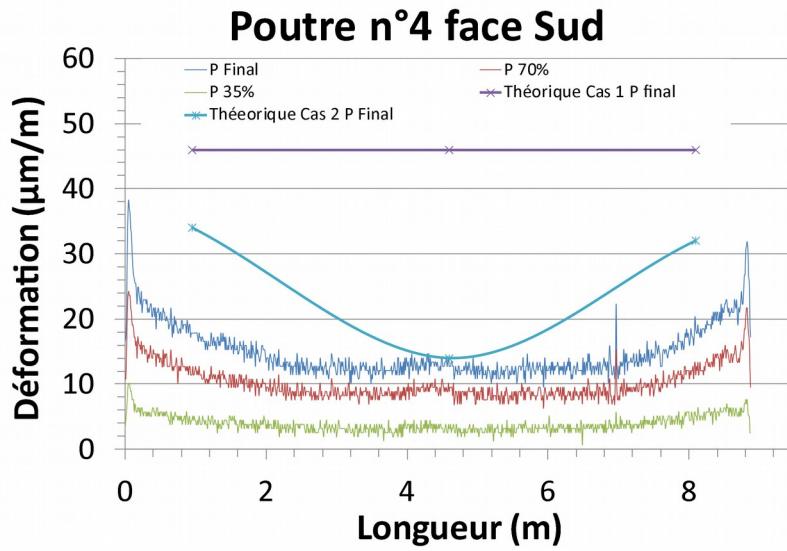
- Comparaison entre les mesures et les valeurs théoriques
 - cas 1 : l'intégralité de l'effort de précontrainte n'impacte que la poutre n°4
 - cas 2 : l'effort de précontrainte se diffuse à 30° à travers le hourdis



Mesures lors de la mise en tension

Mesures réparties sur les poutres (laboratoire d'Aix) :

- Comparaison entre les mesures et les valeurs théoriques
 - cas 1 : l'intégralité de l'effort de précontrainte n'impacte que la poutre n°4
 - cas 2 : l'effort de précontrainte se diffuse à 30° à travers le hourdis



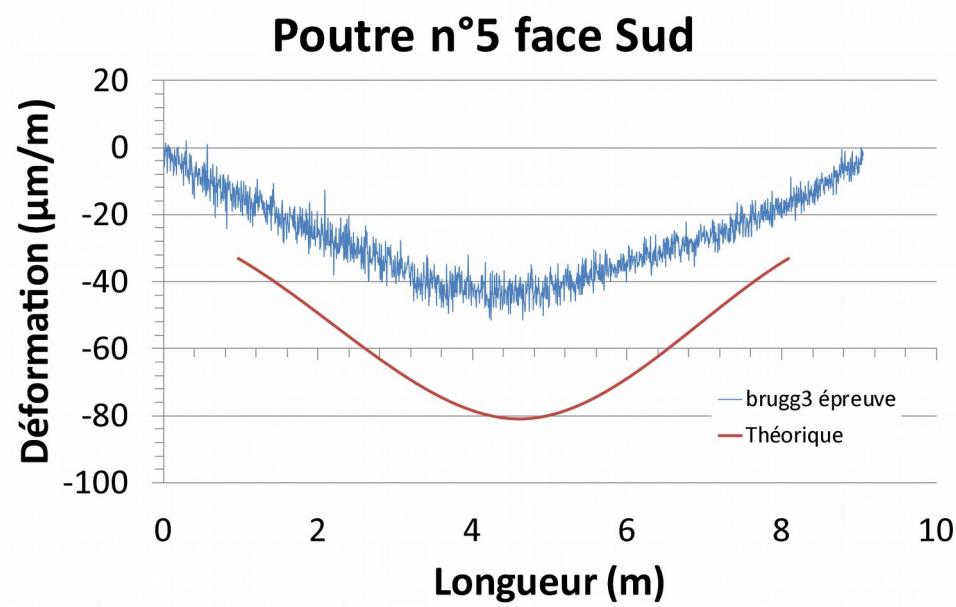
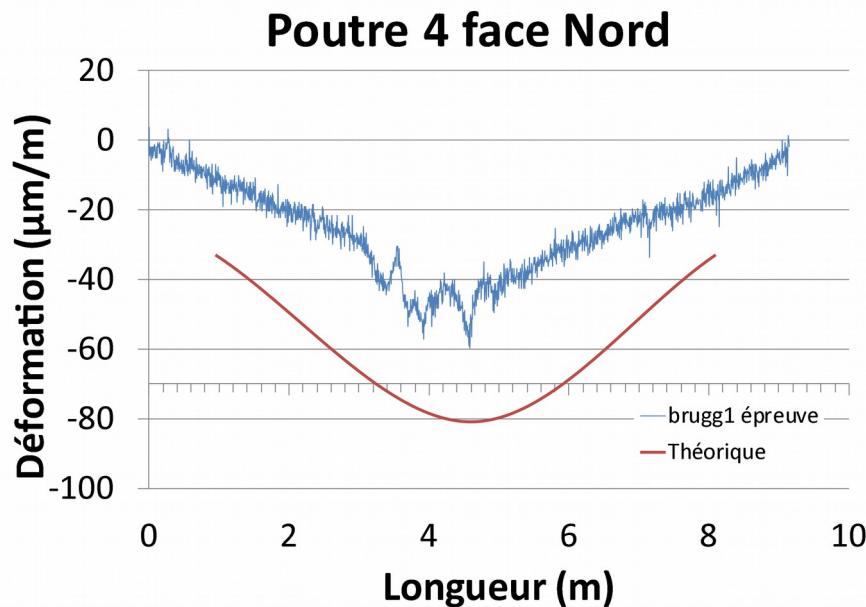
Redistribution de l'effort de compression avéré entre les poutres :

Valeur à mi-travée similaire pour P4 et P5

Effort décroissant de l'ancrage vers la mi-travée sur P4 et croissant sur P5

Mesures lors des épreuves de chargement

Mesures réparties sur les poutres (laboratoire d'Aix) :



Comportement global conforme aux attentes
Comportement particulier de la zone r agrée

Conclusions et perspectives

Sur le chantier :

- Implication forte du maître d'œuvre, des entreprises et des laboratoires du Cerema
- Technique de renforcement assez simple de mise en œuvre
- Suivi des mesures lors de la mise en tension et des épreuves de chargements :
 - Avec les capteurs ponctuels placés sur la poutre, difficultés à suivre les effets induits dues principalement à la faiblesse des efforts appliqués
 - Avec la FOD, des résultats probants qui montrent une diffusion importante de la précontrainte dans les parties avoisinantes

Sur le suivi :

- Première campagne de mesure en cours (permanence de la précontrainte)
- Ouvrage ayant subi un nouveau choc (sur la même poutre!) :
 - Inconvénient : certains capteurs ponctuels sont détruits ou inutilisables
 - Avantages (relatifs) : expérience et mesures possibles (FOD et capteurs sur lamelles) permettant d'apprécier le comportement et la résistance de ce type de renforcement



Merci de votre attention

