

# 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

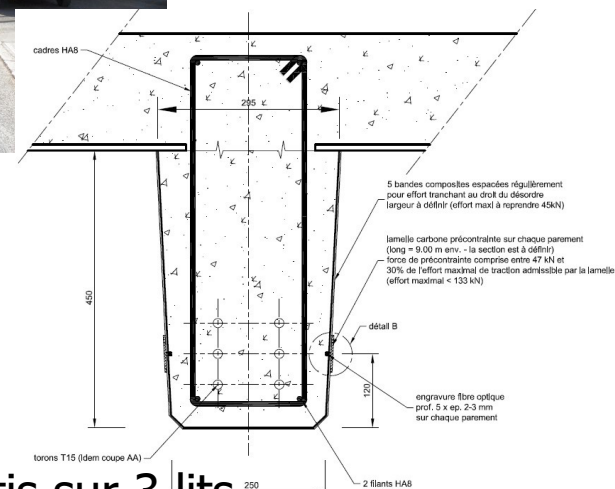
Longueur du tablier : 11,75 m

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  $\Phi$  8 mm et 2 étriers)
- Aciers actifs apparents dont un toron légèrement dévié



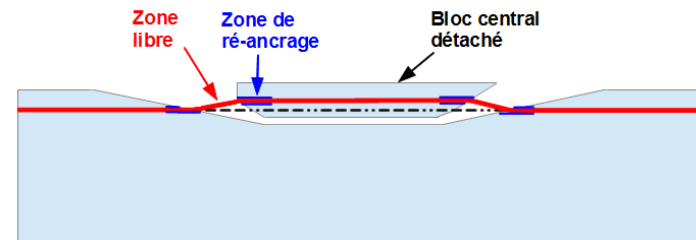
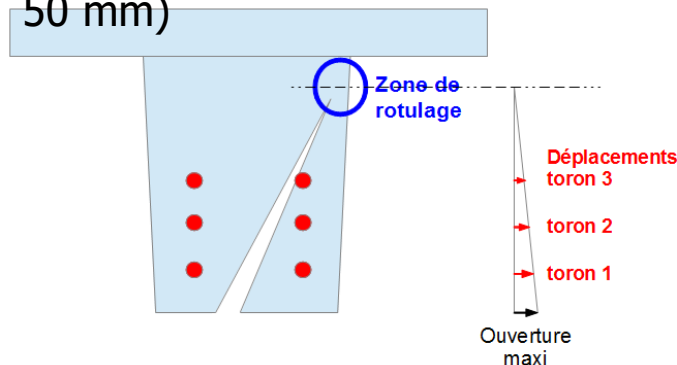
# Premières études

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 hypothèse 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*



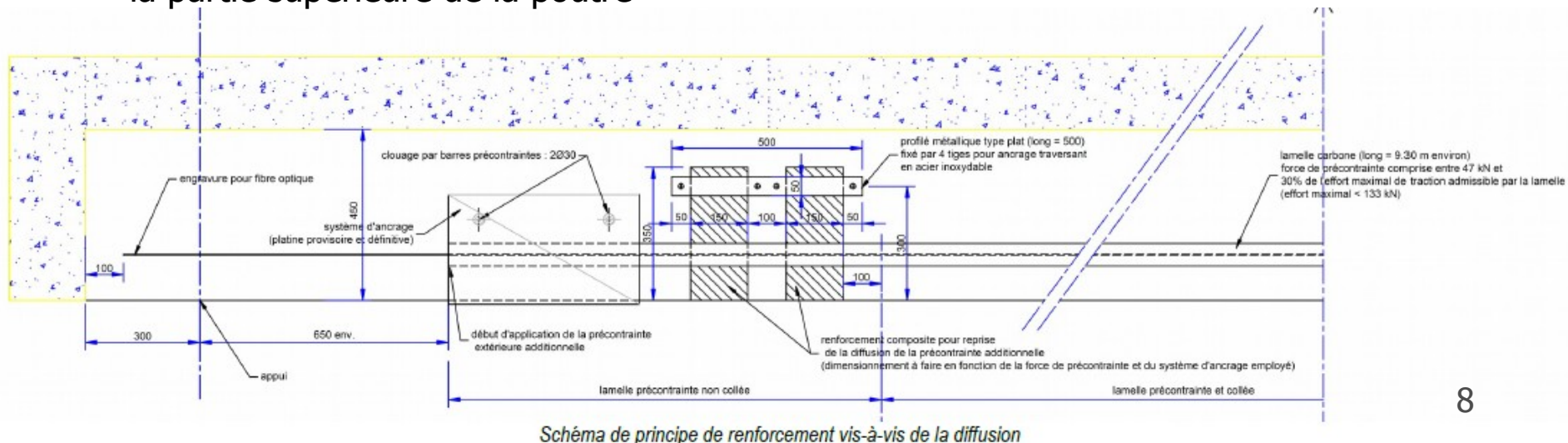
Crédit photo : Le Moniteur

# 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 ( $l = 0,15 \text{ m}$ ) et ancrés dans la partie supérieure de la poutre





# 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

BUILDING TRUST 





# Instrumentation

But de l'instrumentation :

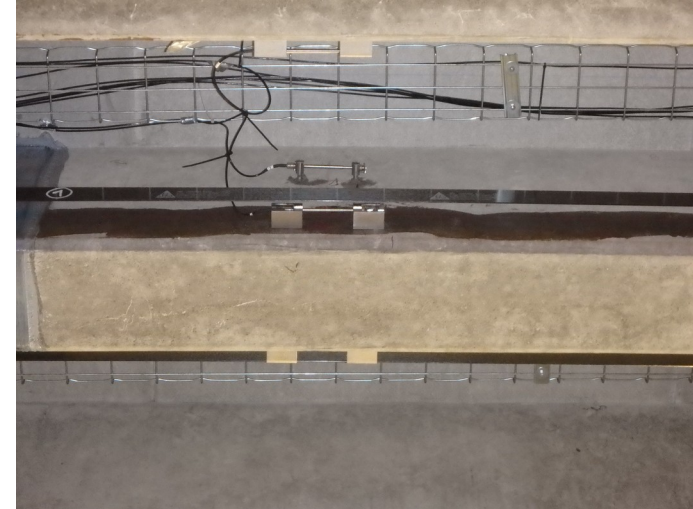
- Suivi de la mise en tension
- Mesures lors de l'épreuve de chargement
- Suivi de l'efficacité de la précontrainte dans le temps

Instrumentation « ponctuelle (locale) » :

- 10 extensomètres à fibre optique fixés par goujons sur deux poutres
- 6 jauges 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  $1\mu\text{m/m}$

### Fonctionnement :

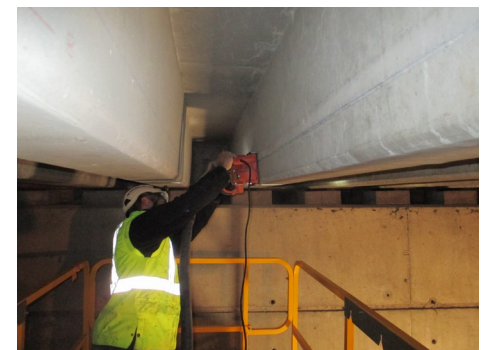
Etude du spectre de la lumière rétro diffusée dans la FOD  
Elaboration et suivi de la cartographie des défauts de diffusion de la lumière  
Détermination d'une déformation relative



### Chantier test : possibilité de suivi periodique sur le long terme ?

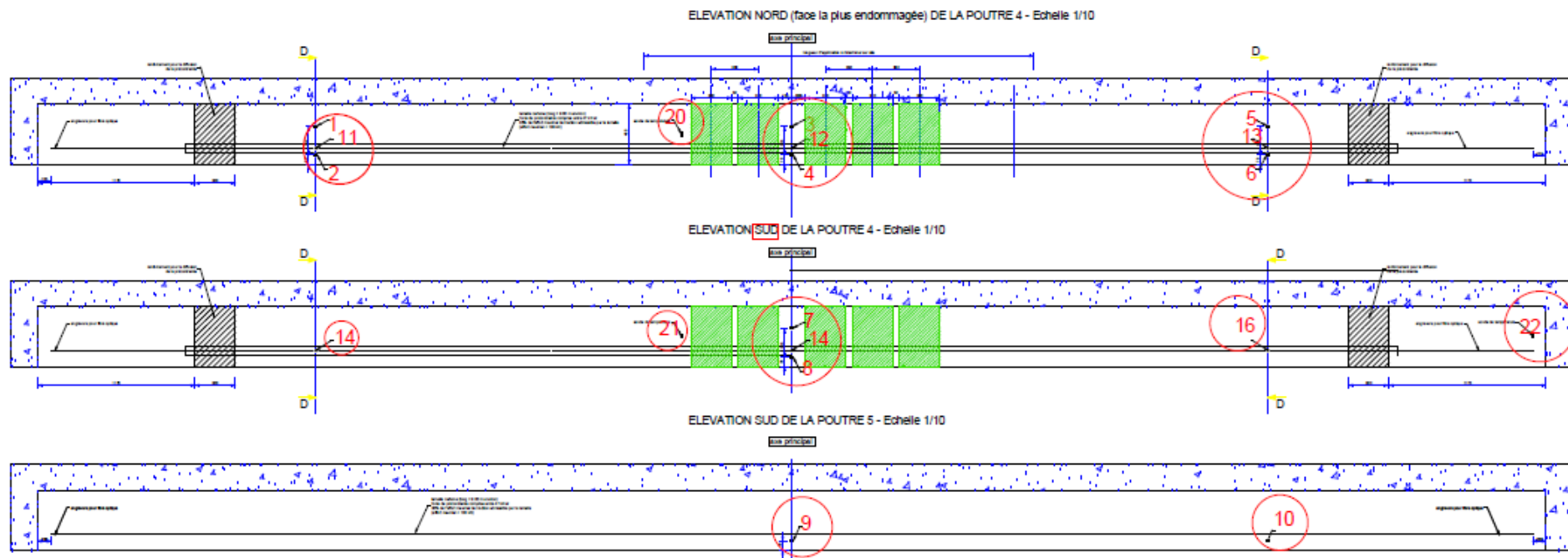
### Instrumentation :

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 goudrons sur poutre
- 11 à 16 : jauges de contraintes à fibre optique collées sur les lamelles tendues
- 20 à 22 : sondes de température



# Mesures lors de la mise en tension

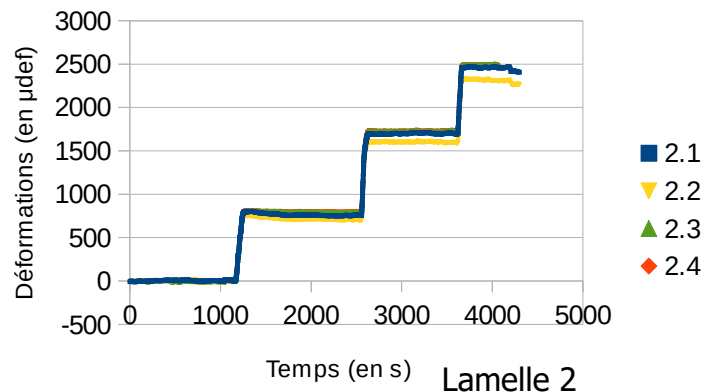
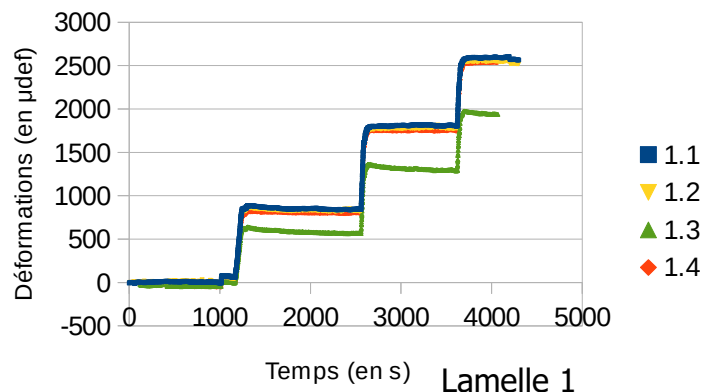
Mise en tension en 3 paliers :

- 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  $\mu$ def [lamelle 1] et 2486  $\mu$ def [lamelle 2] pour une déformation théorique de 2594  $\mu$ def au palier 3)
- Dispositif adapté pour le suivi de la mise en tension

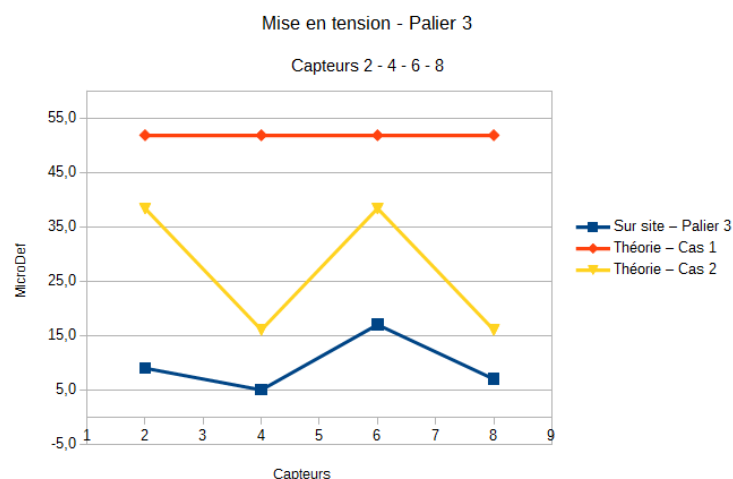
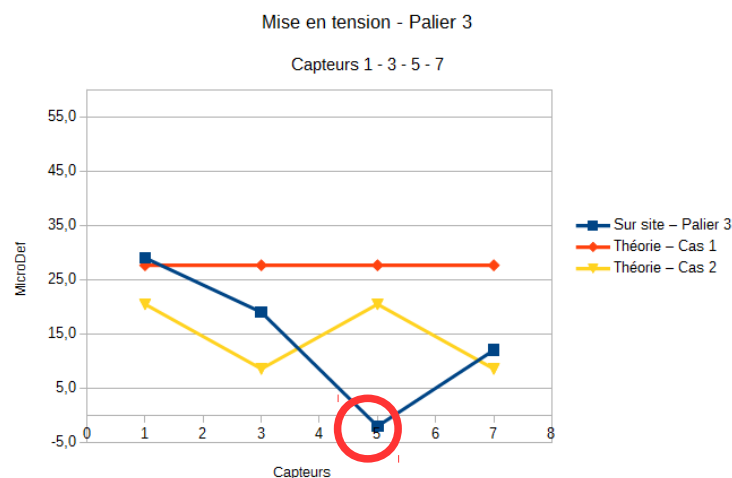
*Nota : le dispositif n'est pas, par contre, adapté pour le suivi des déformations pour les épreuves de chargement (faible niveau de sollicitations)*



# 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]

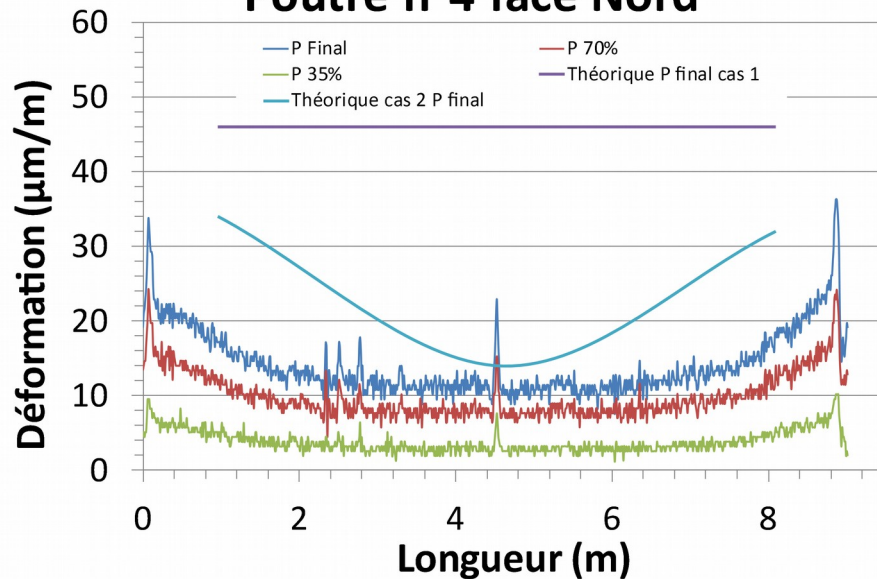
Déformations mesurées sur les capteurs placés en bas de la poutre P4

# Mesures lors de la mise en tension

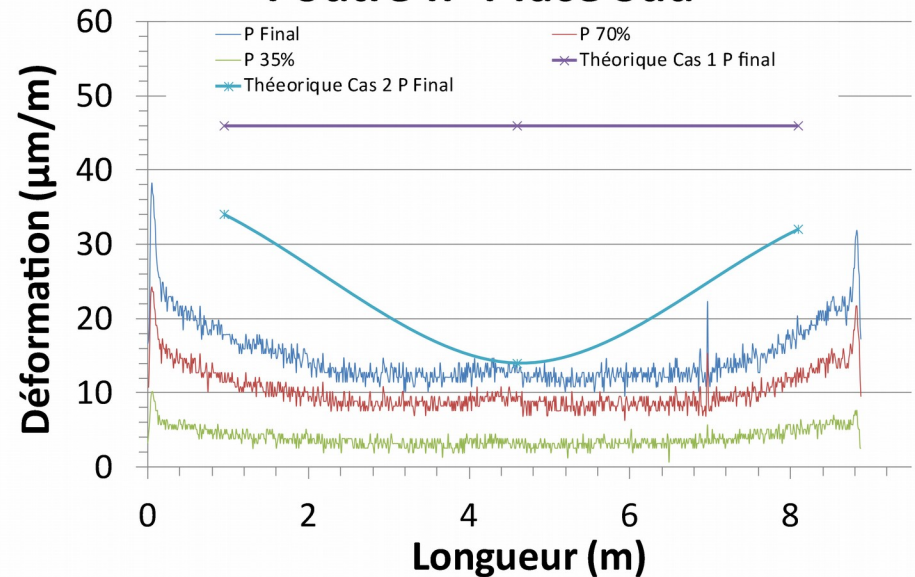
Mesures réparties sur les poutres (laboratoire d'Aix) :

- 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

**Poutre n°4 face Nord**



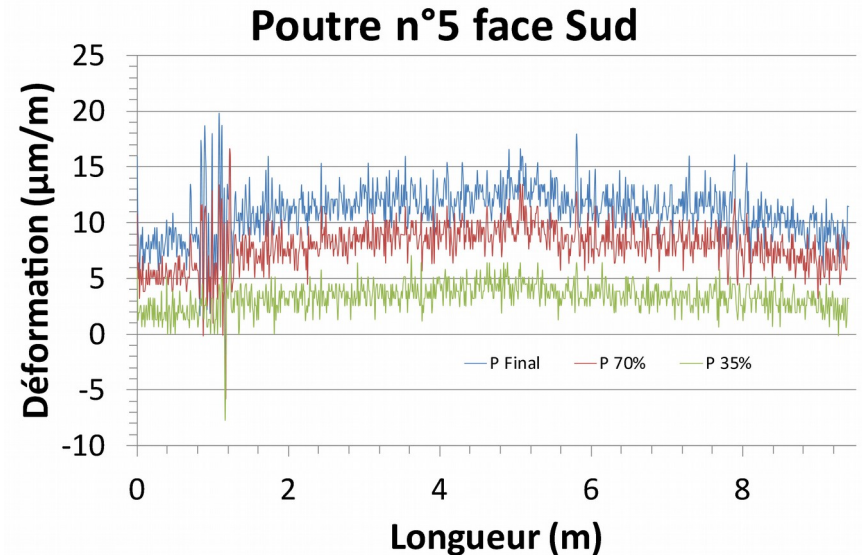
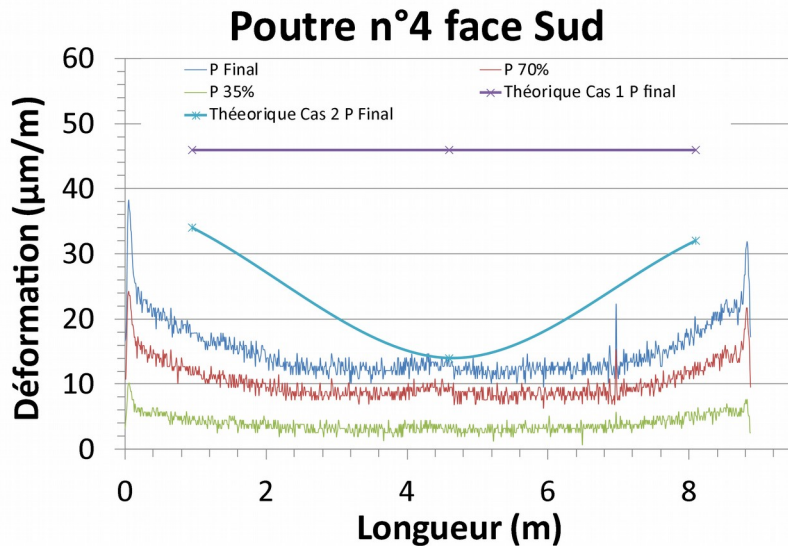
**Poutre n°4 face Sud**



# 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 :

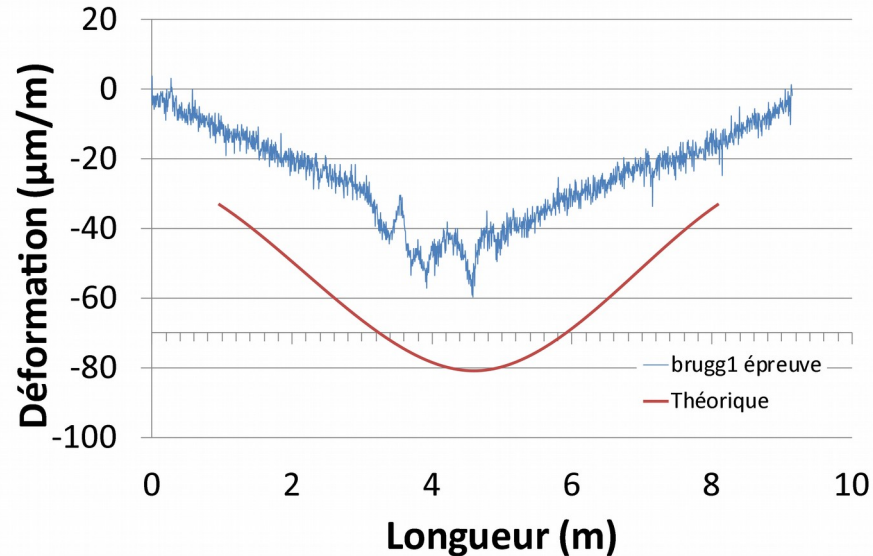
Valeur à mi-travée similaire pour P4 et P5

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

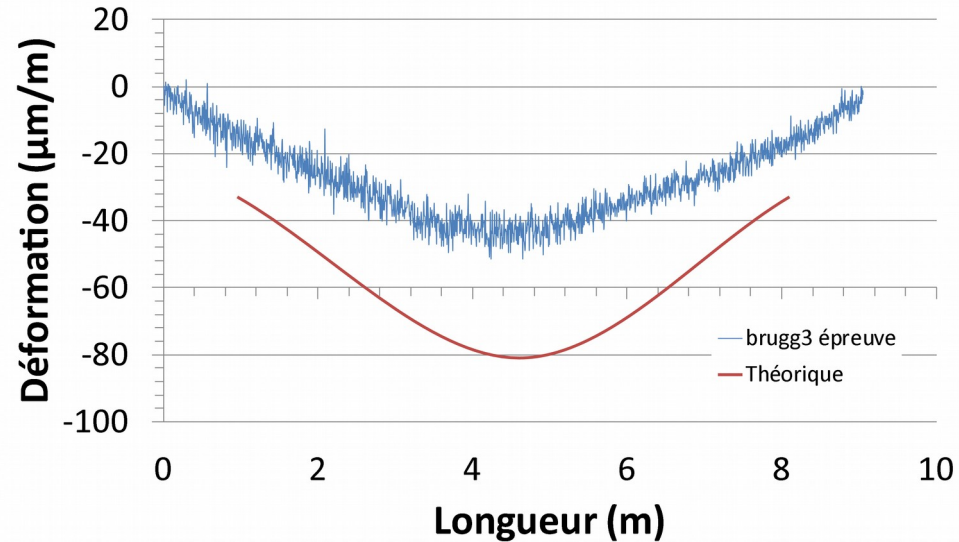
# Mesures lors des épreuves de chargement

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

**Poutre 4 face Nord**



**Poutre n°5 face Sud**



Comportement global conforme aux attentes  
Comportement particulier de la zone ragrée



# 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

