

Adaptation des ouvrages sous convois exceptionnels



Renforcement d'un PRAD par entretoises additionnelles

Pierre PERRIN (Cerema Est DOA)

Sébastien FYON (CD68)

Philippe HUGEL (CD68)

Thibaut PERRIN (Cerema Est LRS)

Jean LETT (Cerema Est LRS)

Arnaud CAMPANER (Cerema Est LRS)

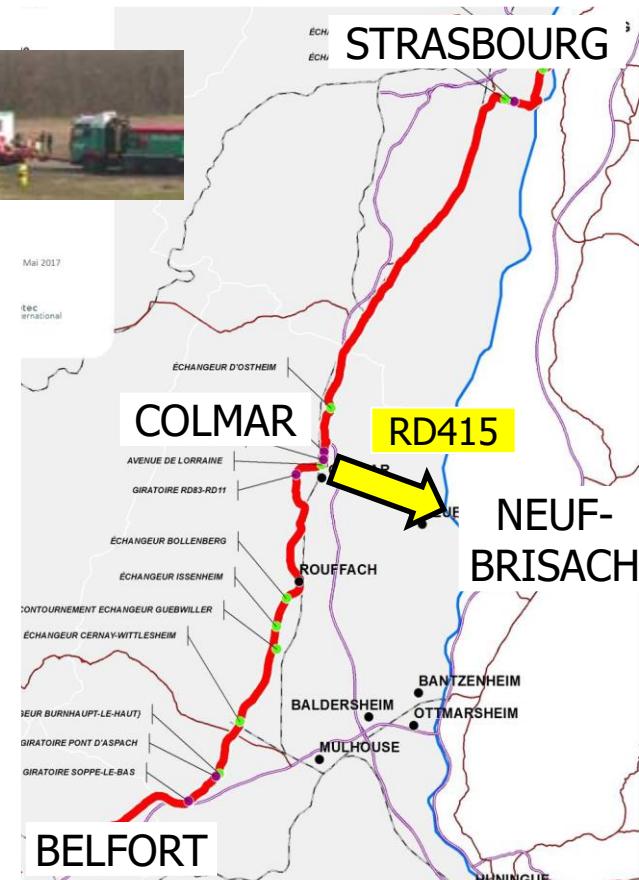
Adrien DODANE (Cerema Est LRN)

Xavier BERDOS (Cerema Est LRN)

Contexte



- Acheminement de colis lourds depuis Belfort vers Strasbourg
- Augmentation de poids des machines industrielles
- Augmentation de la fréquence des passages (1/mois)
- Optimisation du temps parcours pour atteindre la voie d'eau (6j => 4 voire 3j)
- RD415 : 2 ouvrages à renforcer

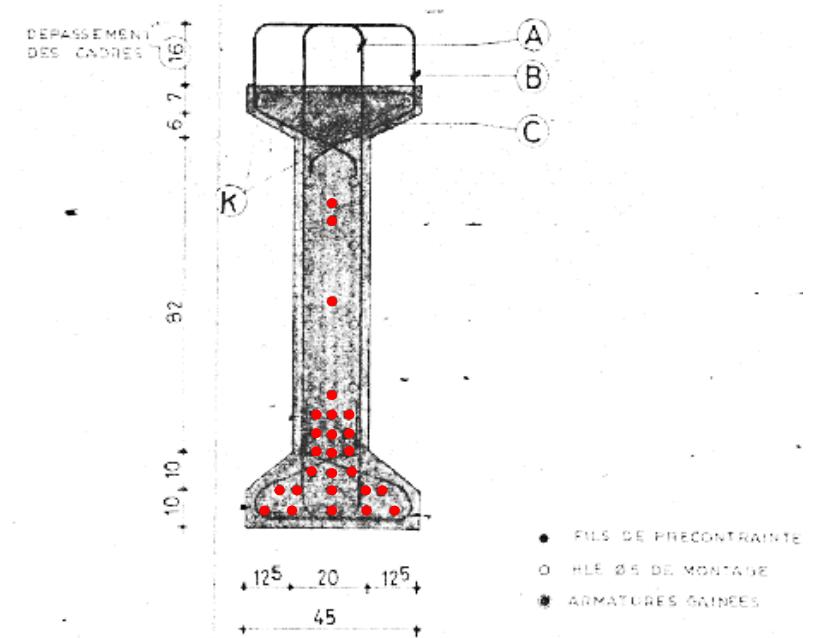


Présentation de l'ouvrage

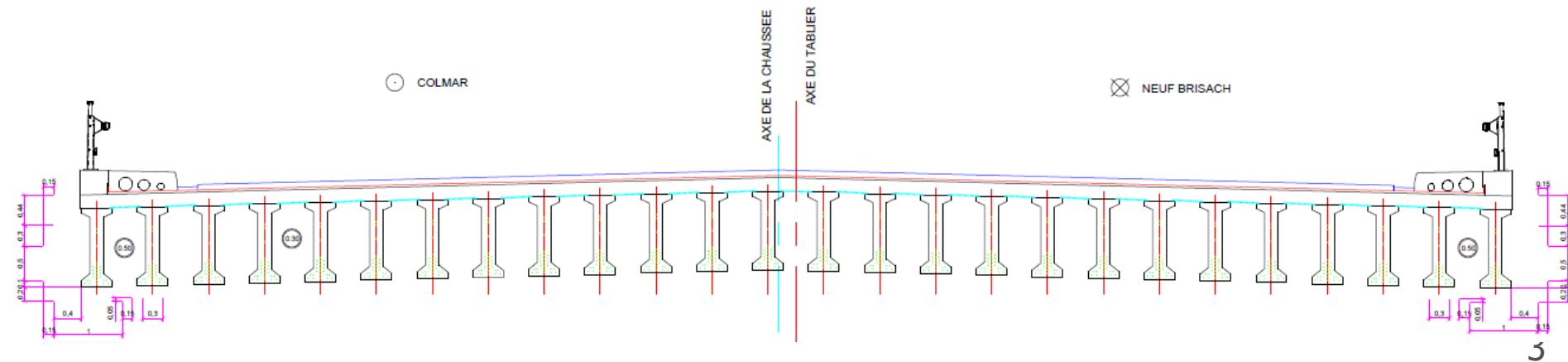
- Construction 1990, bon état général



- 1 travée iso de 25m biais 95 gr
- Hourdis 20cm ; 26 Poutres h=1,15m

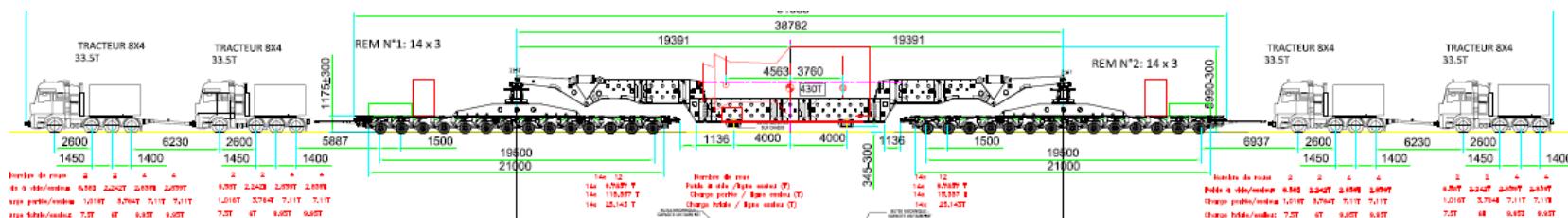


Précontrainte 26 T13 93mm²



Diagnostic

- Logiciel Chamois-P PRAD Cerema
 - Dimensionnement initial : A(l) Bc Bt Br, MC120, Convoi E3F1 400t
 - Convoi : Turbine à Gaz 430t, 14 lignes, 25t/essieu, PTR 846 t



=> Augmentation des sollicitations (flexion, tranchant, flexion transversale) :
 ELS cara, ELU : **+11 à 15%** ELS Fréquent : **+30%** (Psi_1=1 car passage > 1fois/2ans)

Bilan justifications

ELU justifié

ELS cara et fréq insuffisants : fissuration poutre et hourdis sous les convois

=> impact sur la durée de vie de l'ouvrage, non souhaitable pour le gestionnaire

Choix de renforcement de l'OA : **idée de l'entretoisement**

Travaux

- MOE / MOA : CD68
- Financement : CA du grand Belfort (80%), DREAL Bourgogne-Franche-Comté
- Calendrier constraint
 - Objectif : travaux achevés avant fin 2018**
PRO commandé 12/2017 pour une remise fin janvier 2018
DCE février 2018
Travaux juillet à octobre 2018
- Nature des travaux :
 - Intrados : réalisation des entretoises
 - + Extrados : corniches, DR, trottoirs, étanchéité, joints de chaussée
- Coût global 650 000 € TTC (vs 2 160 000 € pour un oa neuf 4200 €/m² TTC)

Contraintes techniques

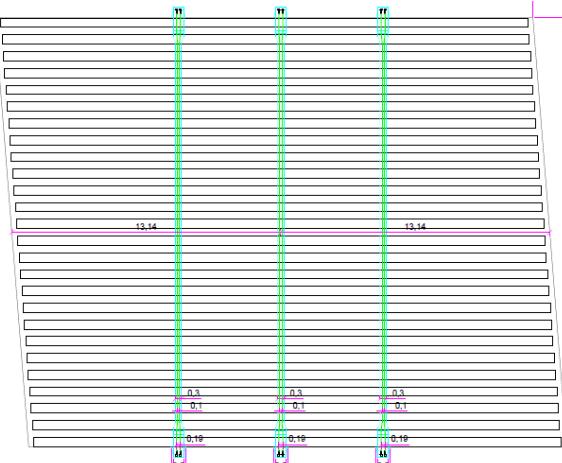
- Exiguïté de l'intrados
âmes : 60 cm entre nus



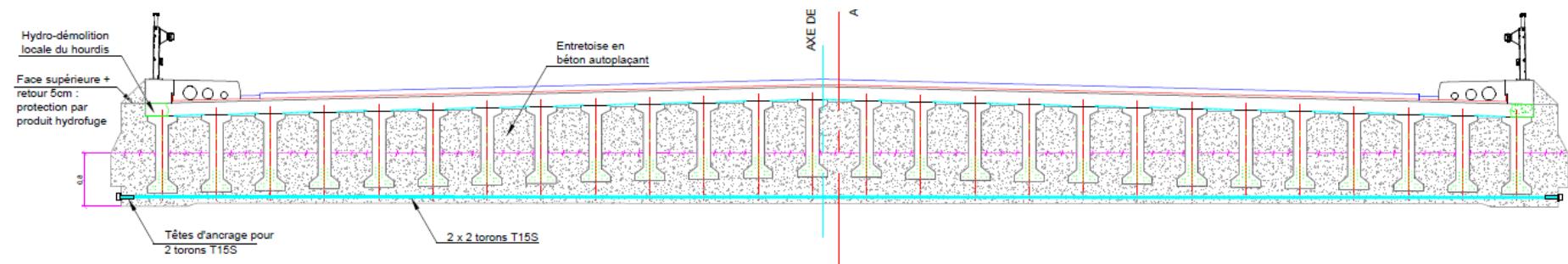
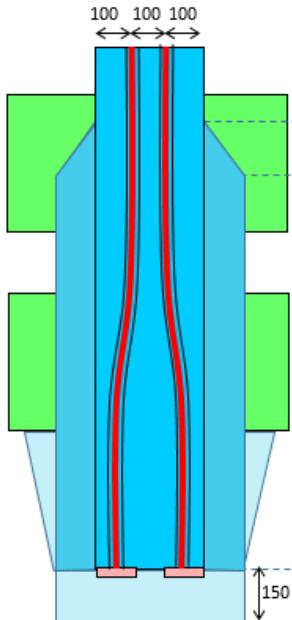
- Amiante dans les coffrages perdus entre poutres : coulage par le dessus ?
- Torons remontant dans l'âme + profil en toit des poutres :
scellements HA ?
carottages pour passer de la précontrainte ?
- + Contraintes exploitation :
Phasage pour maintien de la circulation (coupures de la RD uniquement de nuit)

Disposition de l'entretoisement

- 3 entretoises centrées sur mi-travée, espacées de 5m
- Précontrainte : 2 câbles de 2 torons T15S / entretoise
- Hauteur variable 1,30m à 1,58m (profil en toit)
- Épaisseur courante 30cm

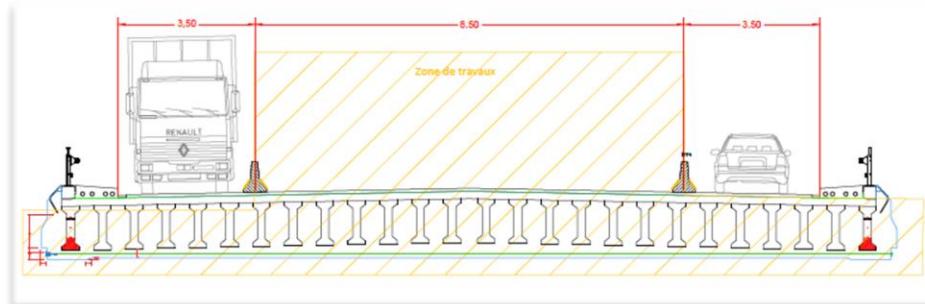


Vue en plan extrémité entretoise



Phase 1

Réalisation partie centrale
des entretoises



Phase 1 En intrados :



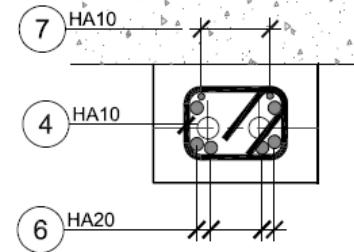
Percements / bouchardage



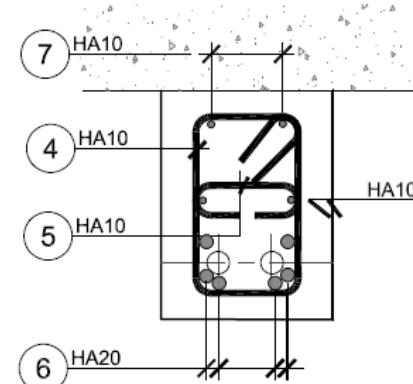
Scellements



Mise place des ferraillages

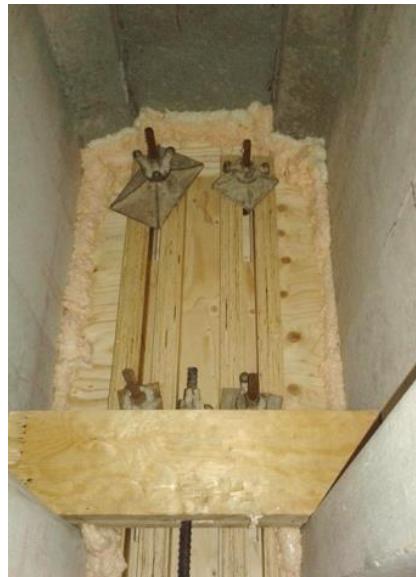


Ferraillage longitudinal
fibres inférieures
entretoises : 6HA20



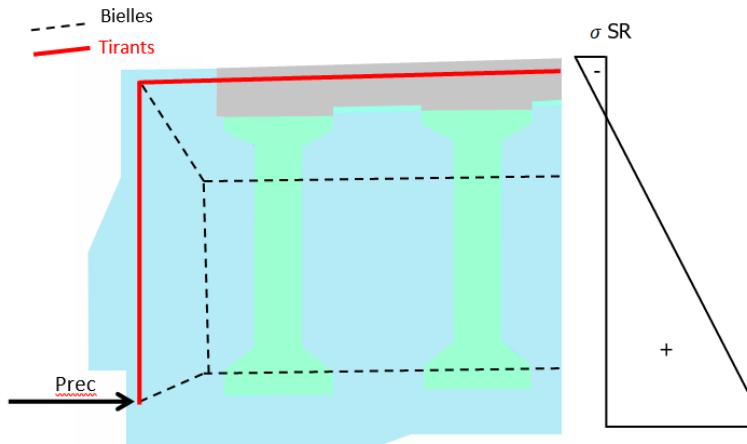
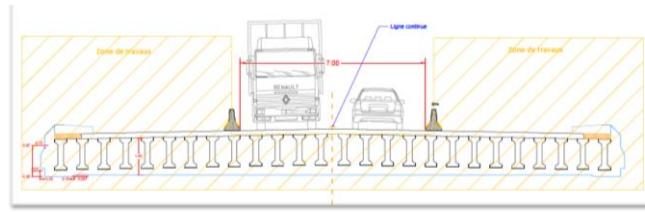
Phase 1

Coffrage /
décoffrage



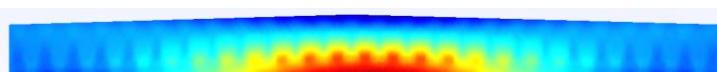
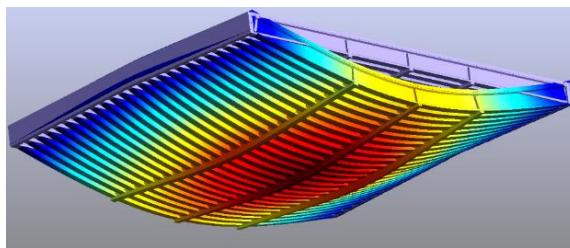
Phase 2

Réalisation parties en rive et abouts des entretoises



Calculs

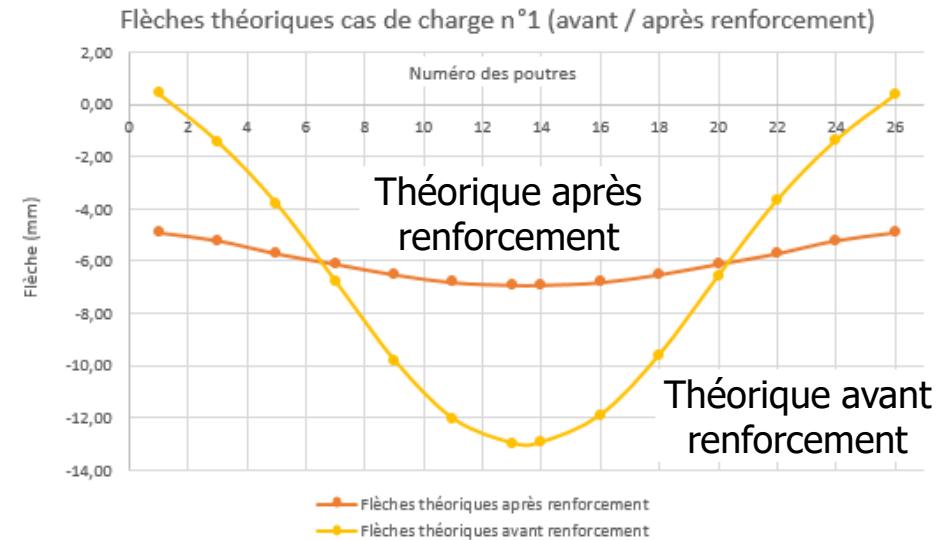
- Modèle simplifié type Guyon Massonet
Dalle équivalente : rigidité entretoisement répartie uniformément => approximation
- Modèle 3D EF volumique (ou grill de poutre) :
Position réelle des entretoises dans la structure => précision rép trans
Efforts dans les entretoises (flexion, cisaillement)
Justifications locales zone vide 20cm bétonnage entre entretoises et hourdis (abandonné)



$$\sigma_{inf,entretoise} = -6 \text{ MPa} \text{ sous convoi}$$



Cisaillement dans l'entretoise

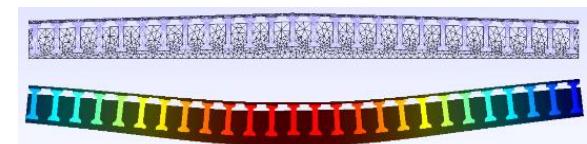


Amélioration de la répartition transversale
=> confirmé par les épreuves 12

Calculs

- Point de vigilance

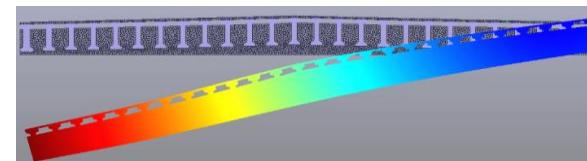
- Convoi Goldhofer 430t 14*3 centré



DZ chargement centré

Mais aussi :

- Trafic courant LM1 excentré
- MC120 excentré

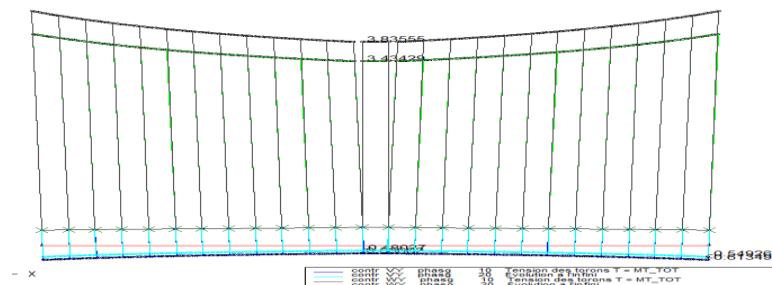


DZ chargement excentré

Remarque

Convoi 430t excentré non acceptable (entretoises non justifiées en cisaillement)

- Modèle filaire ST1 : effet précontrainte, calcul des pertes fluages, relaxation...



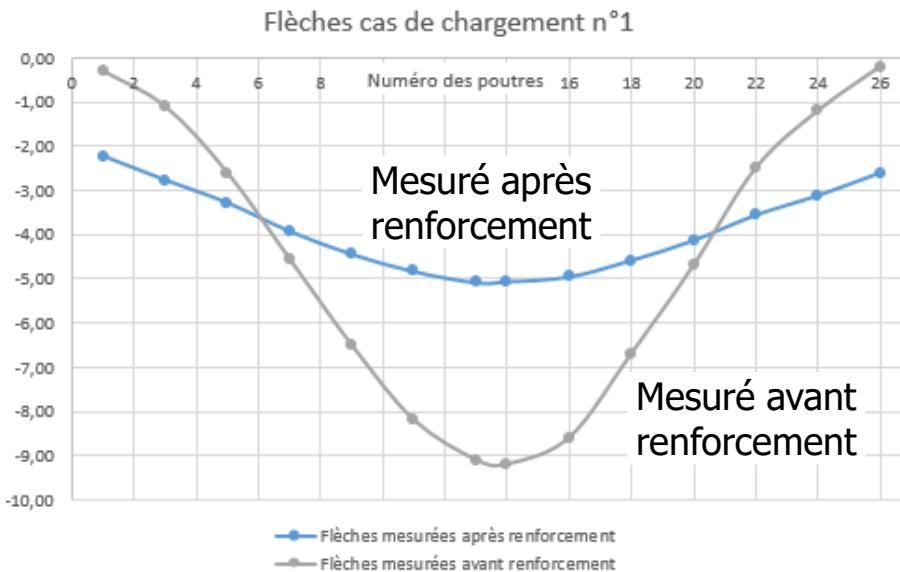
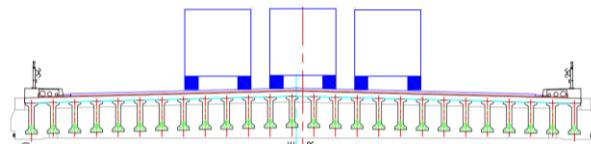
Epreuves avant et après renforcement

- Objectifs :
 - valider les calculs
 - valider l'efficacité du renforcement
- Mesures de flèches par rapport à une poutre de référence disposée sur cintre (14 palpeurs)

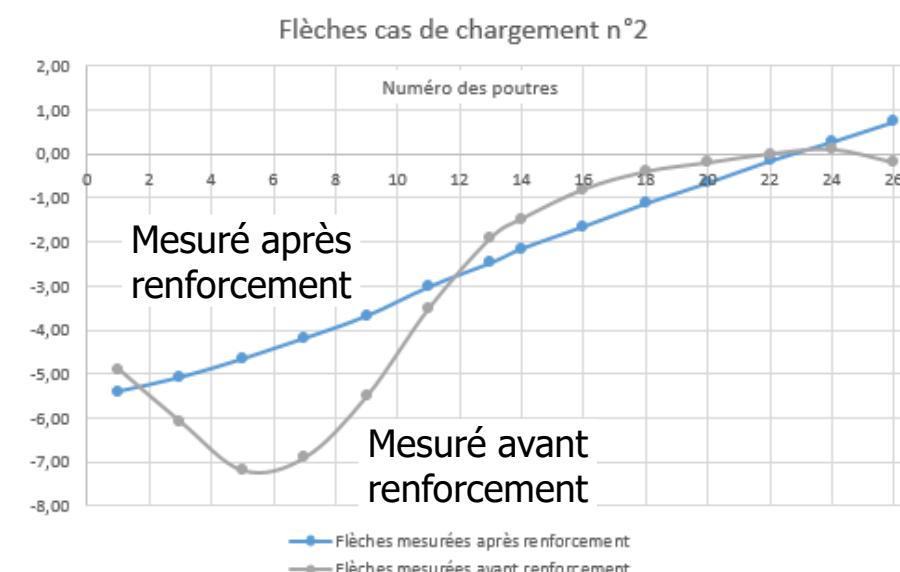
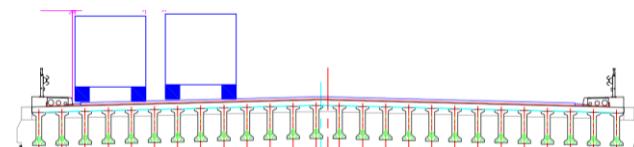


Epreuves : résultats

Epreuve n° 1
6 camions 32 t centrés



Epreuve n° 2
4 camions 32 t excentrés



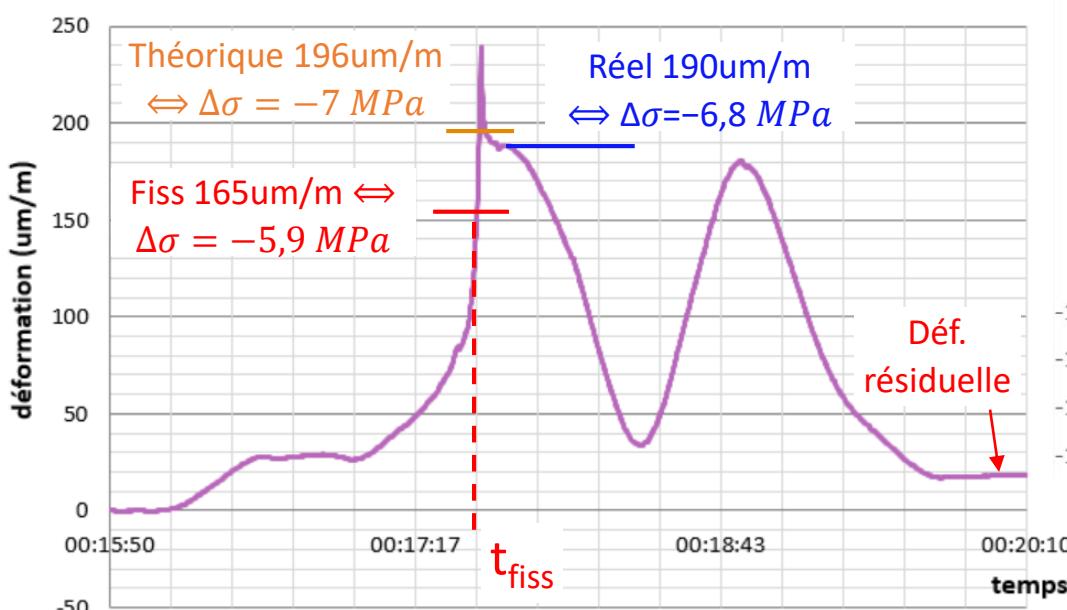
Flèches de même allure mais plus faibles que les flèches théoriques

Passage du 1er convoi

- Nuit du 23 au 24/05/2019
- Colis 375 t => 1 remorque de 320 t sur l'ouvrage



Déformation fibre inférieure entretoise sous convoi réel

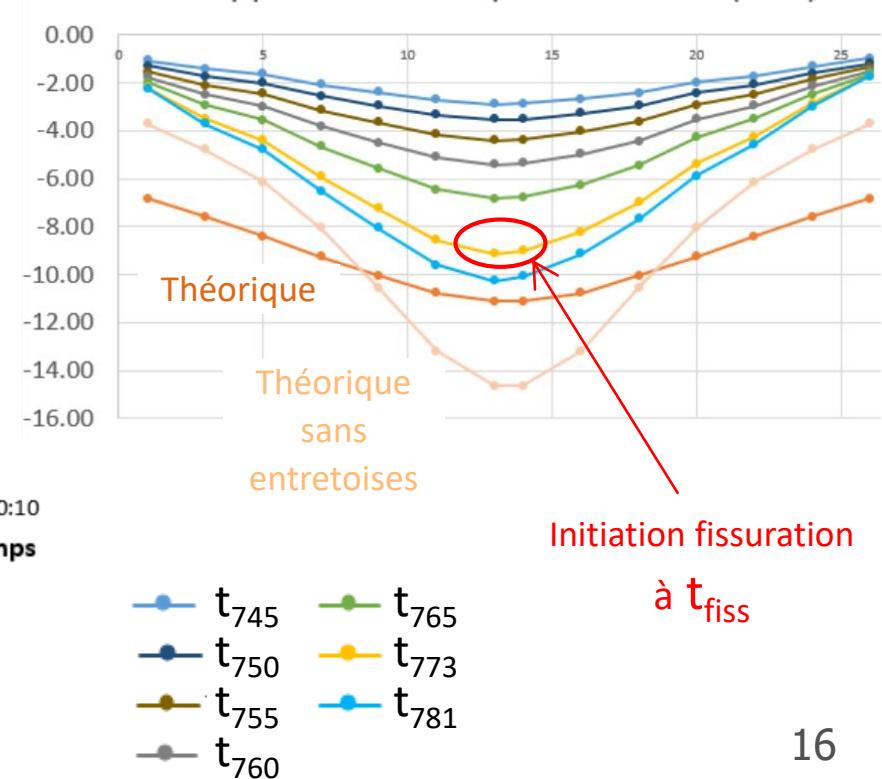


$$\sigma_{\text{à vide}} = +3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{fiss}} = -f_{ctm} = -2,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{final}} = +3 - 6,8 = -3,8 \text{ MPa}$$

Approche remorque 1 : flèches (mm)



Conclusions

- Caractère innovant : expérimenté ici pour déficits ELS mais peut être appliqué pour traiter des défaillances ELU
- Impact limité des travaux sur la structure existante
- Dimensionnement sensible : compromis raideur / résistance
=> entretoises très sollicitées, fortement ferraillées
- Particularité de la consultation : plans de coffrage et de ferraillage de la solution rendus contractuels dans le DCE, tout en demandant des justifications au BE



Merci de votre attention



pierre.perrin@cerema.fr
thibaut.perrin@cerema.fr
fyon@haut-rhin.fr