



Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil

# LA GESTION DES OUVRAGES D'ART EN SITUATION DE CRISE

Journée Technique

**Jeudi 20 Novembre 2025**

FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS



Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil

# LA GESTION DES OUVRAGES D'ART EN SITUATION DE CRISE

Diagnostic et renforcement de poutres précontraintes  
endommagées par choc routier

Le 20/11/2025

# LA GESTION DES OUVRAGES D'ART EN SITUATION DE CRISE

Diagnostic et  
renforcement de poutres  
précontraintes  
endommagées par choc  
routier

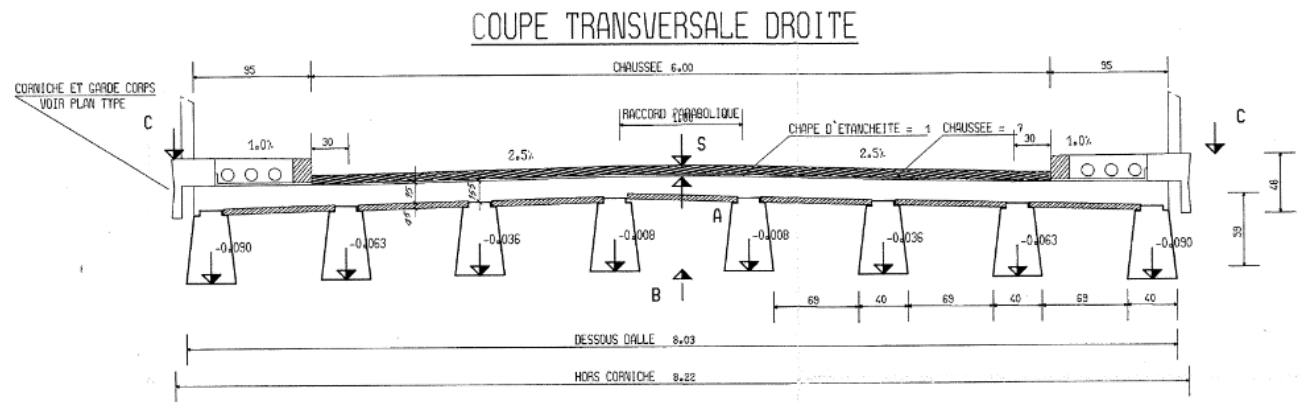
# Sommaire

- Les chocs sur tablier à poutres précontraintes
- Spécificité de la gestion de l'endommagement de poutres précontraintes
- Les mesures conservatoires
- Les solutions de réparation
- Focus sur réparation innovante en BFUP



# Chocs

## PS type PRAD



# Chocs

VIPP

Espagne





# Chocs

VIPP

Espagne



# Chocs



# Chocs

PS type

PRAD





# Chocs

PS type  
PRAD



# Chocs

PS type

PRAD



# Chocs

PS type

PRAD





# Chocs

PS type

PRAD



# Chocs

VIPP





# Chocs

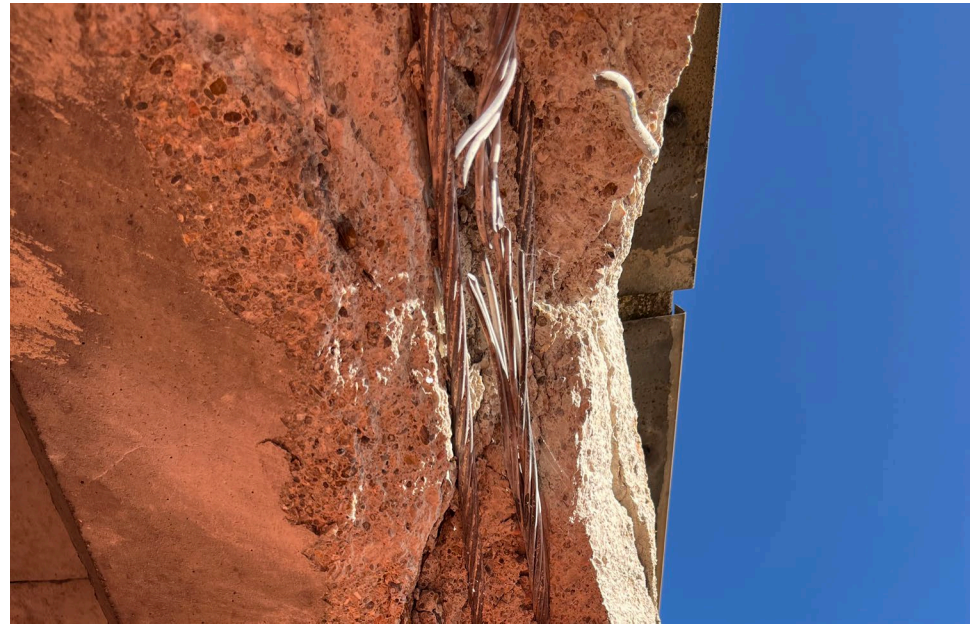
VIPP



# Chocs

## Constats récurrents

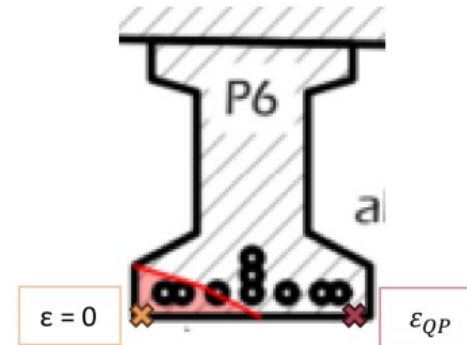
- Surreprésentation des chocs sous chantier voisin
- Forte proportion de « rebond » avec plusieurs poutres impactées
- Facies d'endommagement
  - Rupture locale en coin dans le talon avec sectionnement d'armatures
  - Fissuration/ Fracturation en trapèze de l'âme de poutre



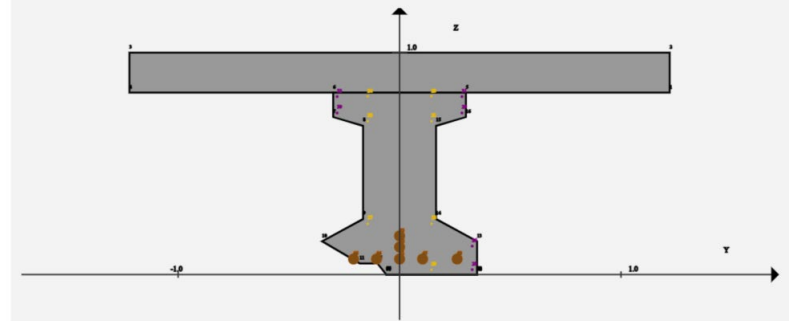
# Problématiques spécifiques

## Ouvrages précontraints

- Section béton rompue => zone décomprimée déchargée de la contrainte permanente
- Perte de précontrainte avec réancrage des câbles



2.1. Section : POUTRELLETHOURDIS - Poutrelle + hourdis



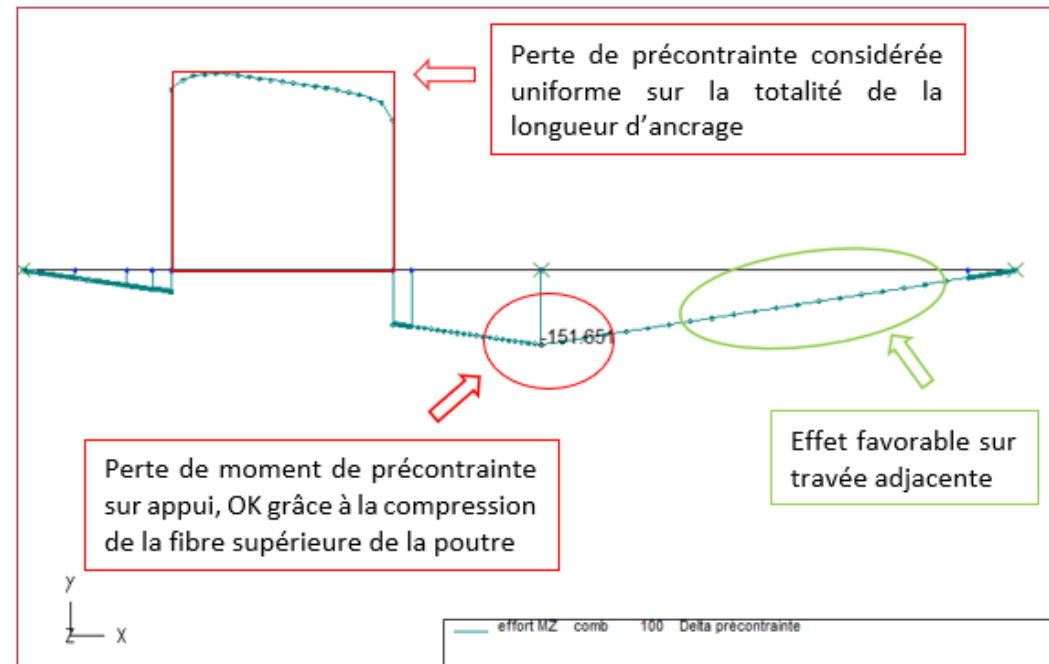
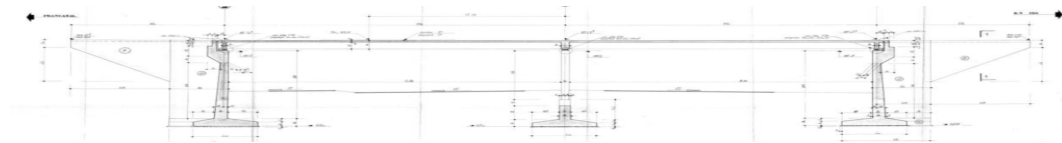


# Problématiques spécifiques

## Ouvrages précontraints

- Section béton rompue => zone décomprimée déchargée de la contrainte permanente
- Perte de précontrainte avec réancrage des câbles
  - Longueur impactée
  - Effets hyperstatiques

$$L_{anc} = 2 * \Delta_x * \frac{E}{\sigma_{cable}}$$



# Les différents temps d'action

**Bien respecter les différents temps d'action:**

- Mesures Conservatoires
- Mesures de Diagnostic et d'Etudes
- Mesures de Réparation



# Les différents temps d'action

## Mesures Conservatoires

- Premier risque = chute d'éléments
  - Privilégier les systèmes simples



# Les différents temps d'action

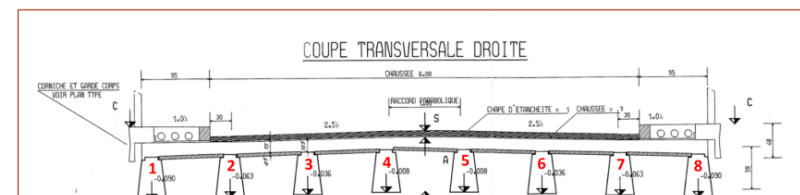
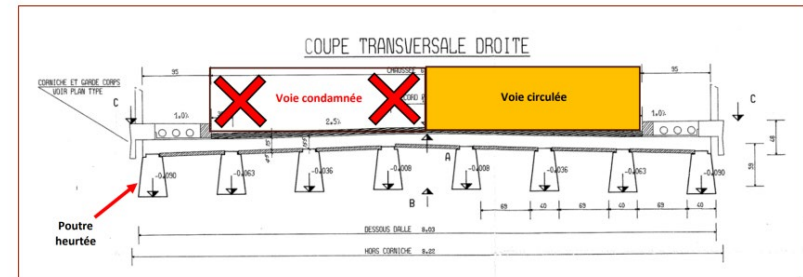
## Mesures Conservatoires

- Premier risque = chute d'éléments
  - Privilégier les systèmes simples



# Les différents temps d'action

- **Exploitation sous régime conservatoire**
  - Faire une évaluation comparative et sommaire de flexion en négligeant la poutre endommagée et décalant les voies (méthode de Guyon ou Courbon)
  - Recalcul peu opportun à ce stade
  - Baliser l'ouvrage
  - Suivi visuel et/ou topo basique

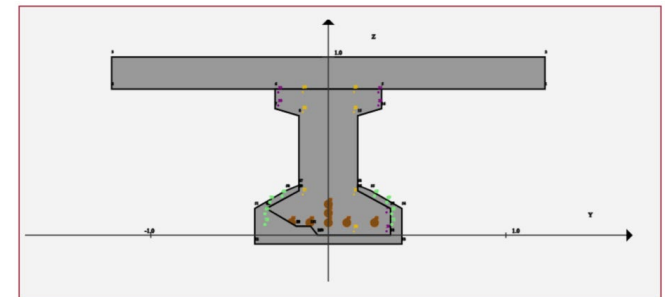
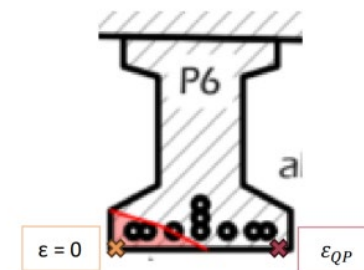
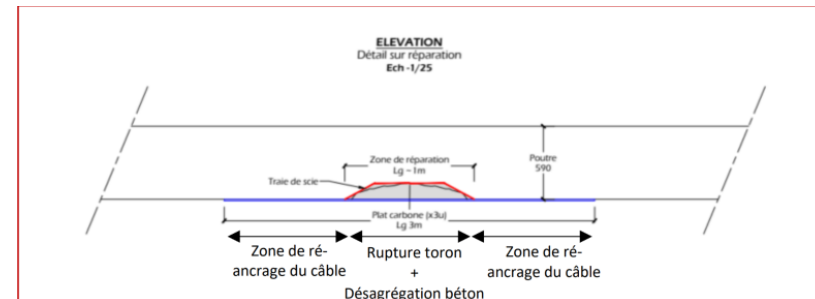


Gonfig. initiale	1.445	1.588	1.527	1.527	1.588	1.445	1.159
Config. alternat	0.386	0.640	0.981	1.296	1.406	1.273	1.019
Comp. (%)	27 %	40 %	64 %	85 %	89 %	88 %	88 %

# Les différents temps d'action

## Diagnostic

- Approche première: quantifier les effets propres de la rupture plutôt que faire un recalcul complet avec des hypothèses discutables concernant la rupture
- En complément calcul éventuel
- Attention à l'état du hourdis (parfois moins ferraillé que l'âme de poutre)
- Faire suivi topo pour justifier évolution
- Quantifier recul des câbles
- Investigations en fonction de réels enjeux mis en évidence par l'expertise

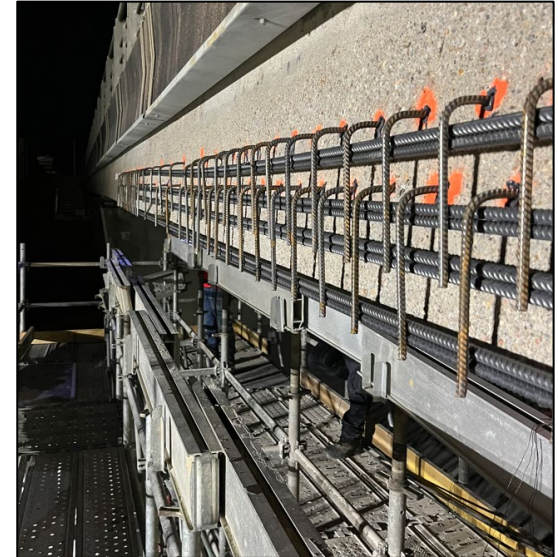


# Les différents temps d'action

## Réparation

### Grandes familles

- Ragréage local (si dégâts superficiels)
- Lamelles Pultrudées Composites collées
- Lamelles Pultrudées Composites Précontraintes
- Précontrainte additionnelle
- Remplacement de la poutre





# Réparation

## Les limites de chaque technique

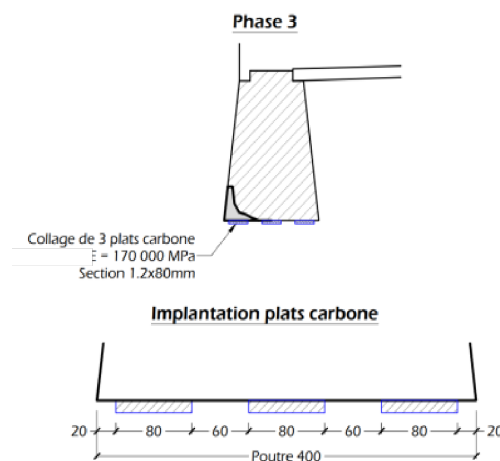
- Lamelles Pultrudées Composites collées

Ne rétablit pas le champ de contrainte initial

Fonctionnement potentiel en section fissurée

Adaptés à des endommagements limités

Exposition aux chocs futurs



# Réparation

## Les limites de chaque technique

- Lamelles Pultrudées Composites précontraintes

Amélioration du système collé passif

Niveau mécanique de précontrainte loin de permettre de retrouver l'état initial

Exposition aux chocs futurs

Ancrage fixe



Ancrage mobile



Référence présentée: Sika CarboSTress

[https://che.sika.com/dam/dms/ch01/7/sika\\_renforcements\\_d-ouvrages\\_carbodur.pdf](https://che.sika.com/dam/dms/ch01/7/sika_renforcements_d-ouvrages_carbodur.pdf)

# Réparation

## Les limites de chaque technique

- Remplacement de la poutre

Effets de retrait/fluage différentiel à prendre en compte (jusqu'à + 30 % de précontrainte sur poutre remplacée)

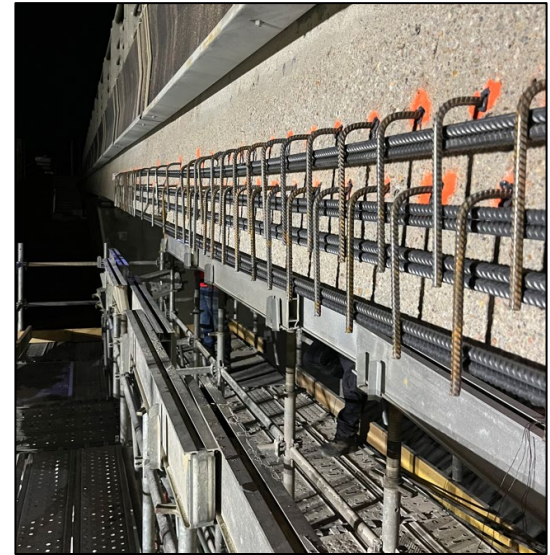
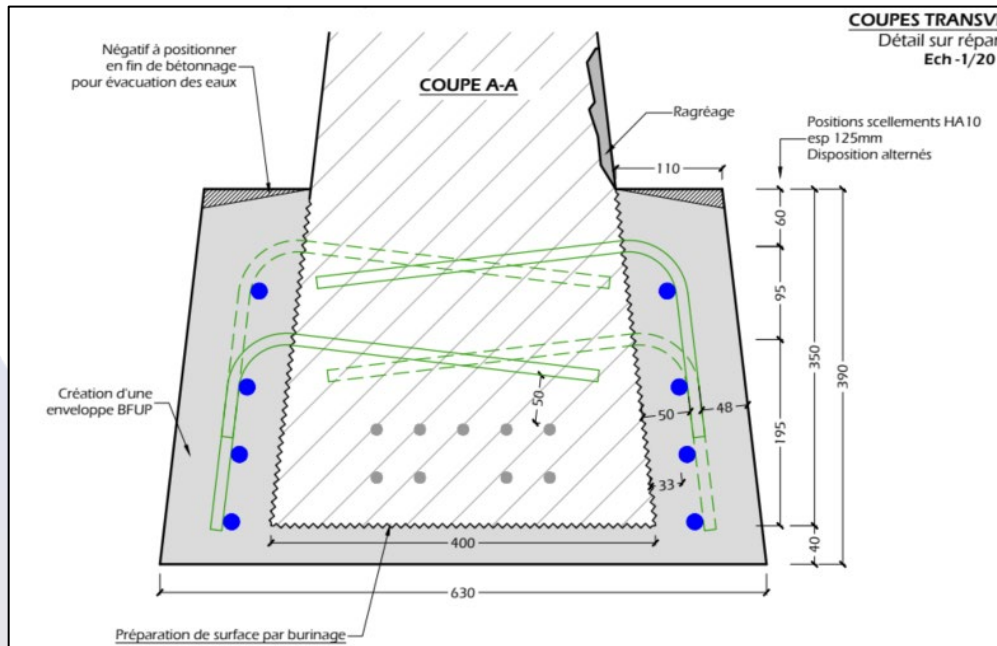
- Travaux complexes :
  - Coût,
  - Contraintes d'exploitation





# Solution Innovante

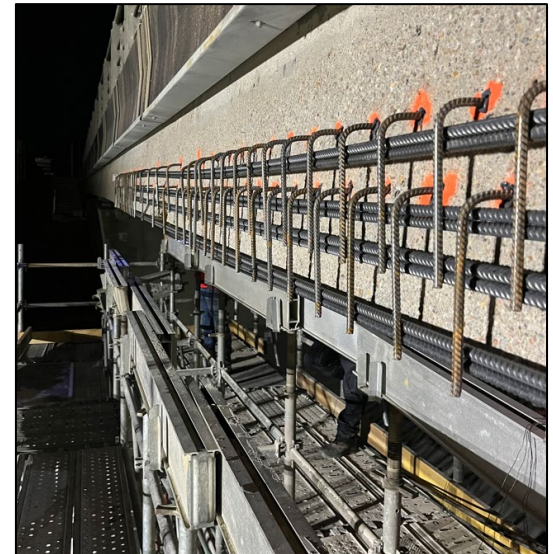
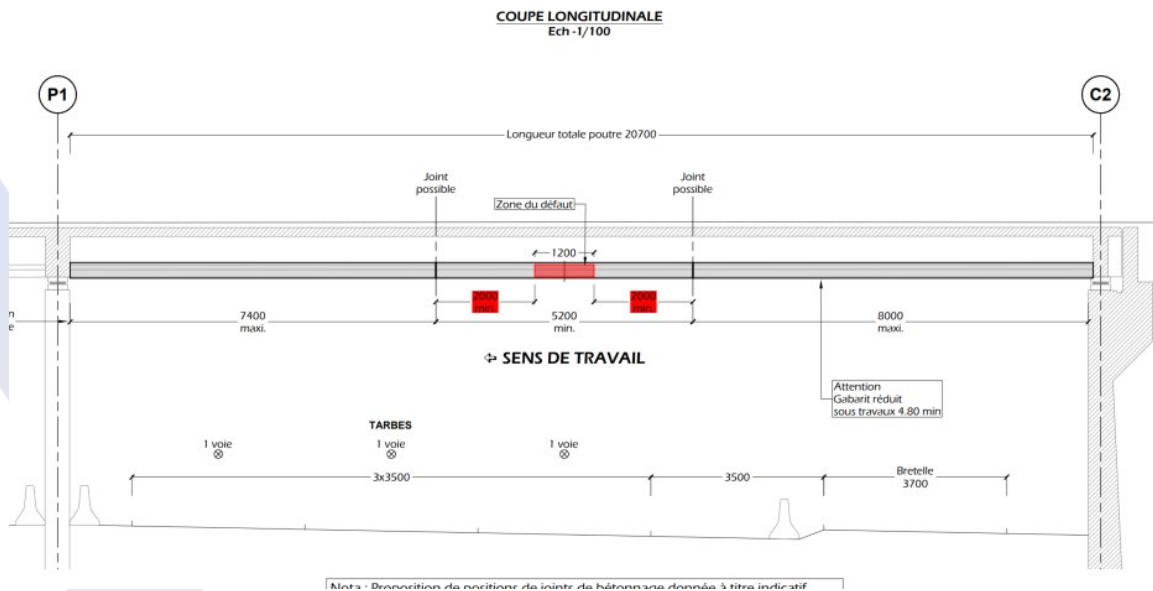
## Le talon BFUP en traction écouissante





# Solution Innovante

## Le talon BFUP en traction écouissante



# Renforcement BFUP

## Rappel:

### Le BFUP et la traction

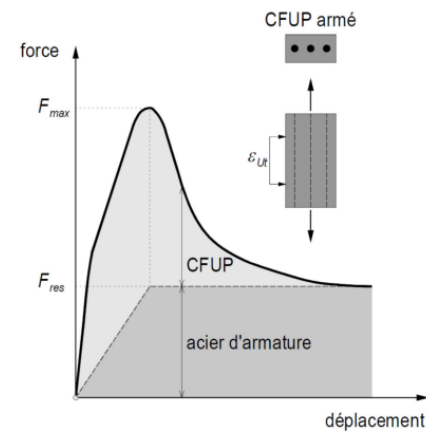
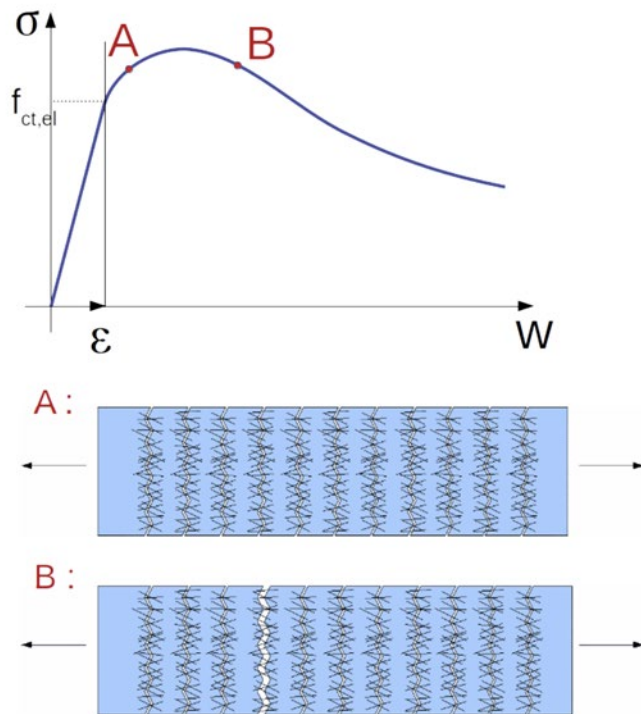


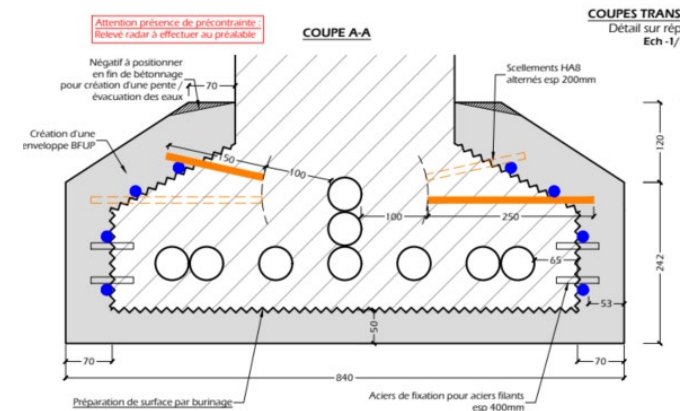
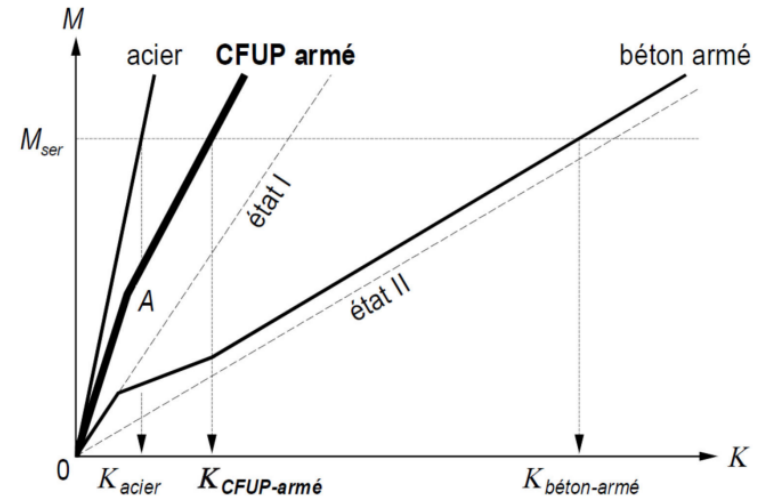
Fig. 3.7 Superposition du comportement en traction du CFUP (avec écoulement) et de la barre d'armature.

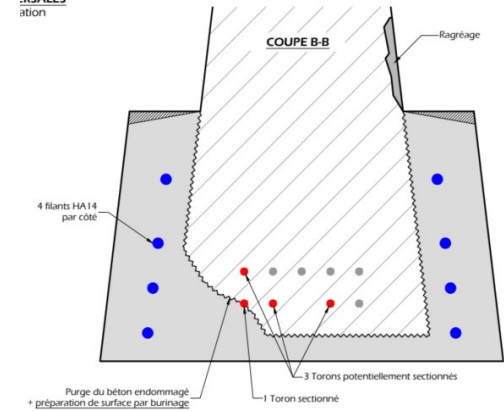
# Renforcements BFUP

## Les idées clés du renforcement

- Donner une déformation supplémentaire ELS
- Renforcer le moment ELU
- Voire garantir un effet de Pontage de l'effort tranchant
- Adhérence BFUP / Poutre par adhérence
- Fonctionnement ELS du BFUP dans domaine écrouissant

## Quelques points clés dans le dimensionnement BFUP (calculs, essais et préconisations matériau)

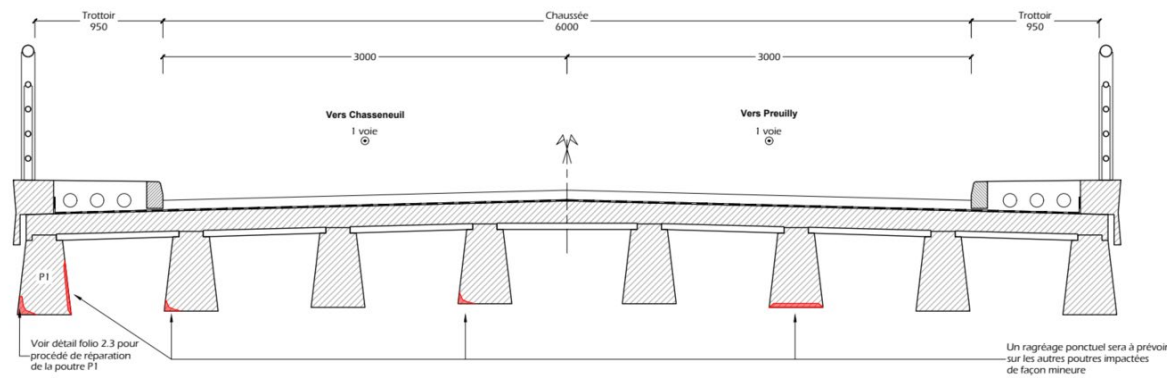




# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- 1 talon de poutre de PRAD (considération lors du dimensionnement = rupture de 4 câbles de précontrainte sur 9)
- Prototype échelle 1
- Travaux sur 1 semaine en basculement (lundi 16h – vendredi 11h, postes en 2x8)
- Longueur de 6 m





# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- Endommagement sous choc

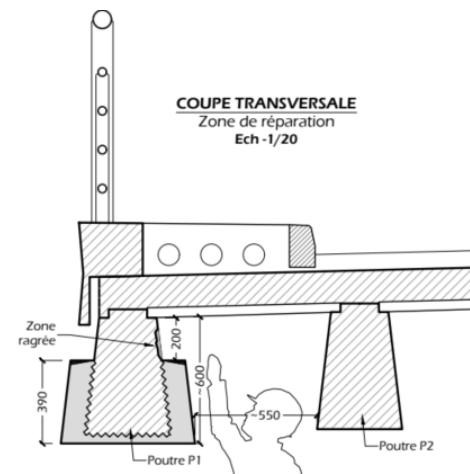
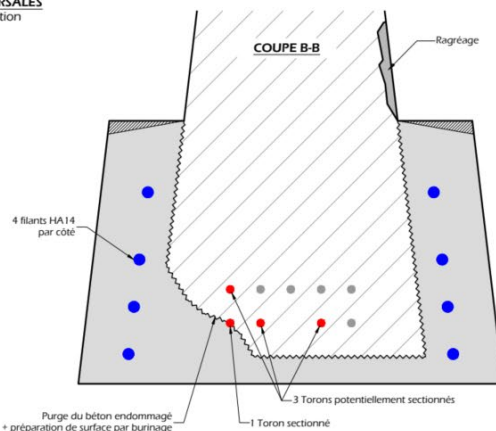
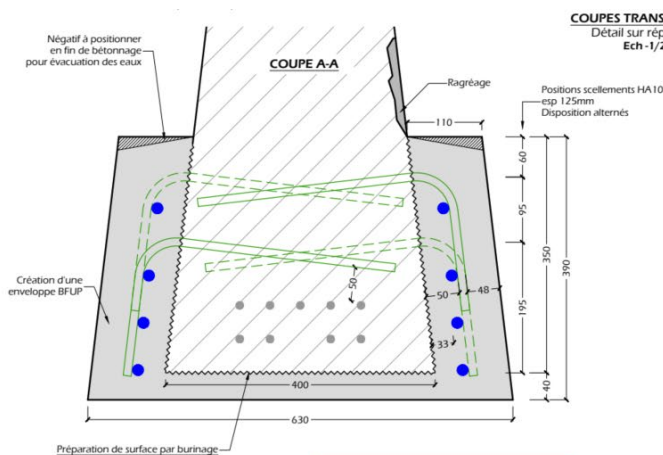
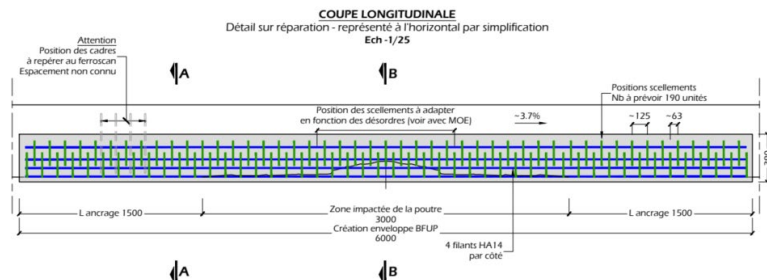


# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- Conception

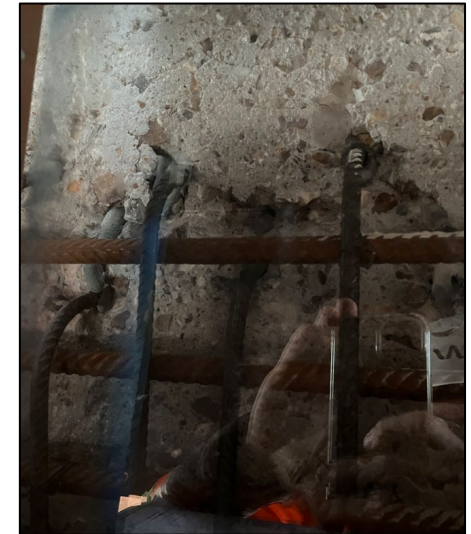
Adaptation entreprise = augmentation de l'épaisseur en talon (4 cm -> 5 cm)



# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- Convenance  
=> Reproduction des conditions/encombrement in-situ



# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- Préparation de surface  
⇒ Piquage prévu au marché,  
sablage finalement  
**≈ 1h/m<sup>2</sup> (poste sous-évalué)**

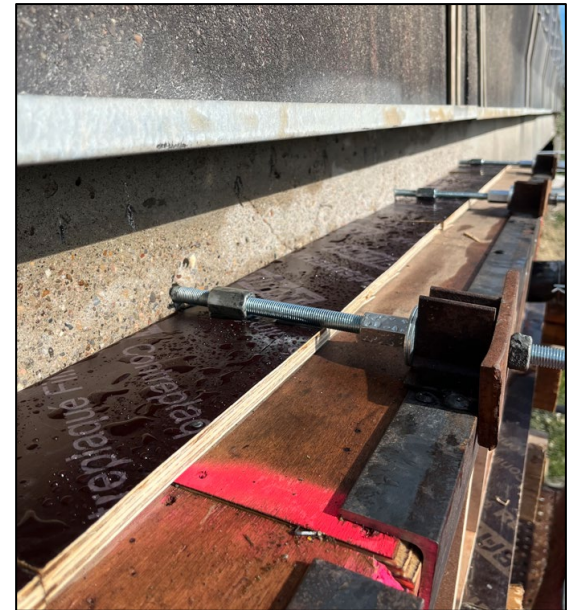




# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- Coffrage



# Renforcements BFUP

## Chantier 1

- Bétonnage





# Renforcements BFUP

## Chantier 1

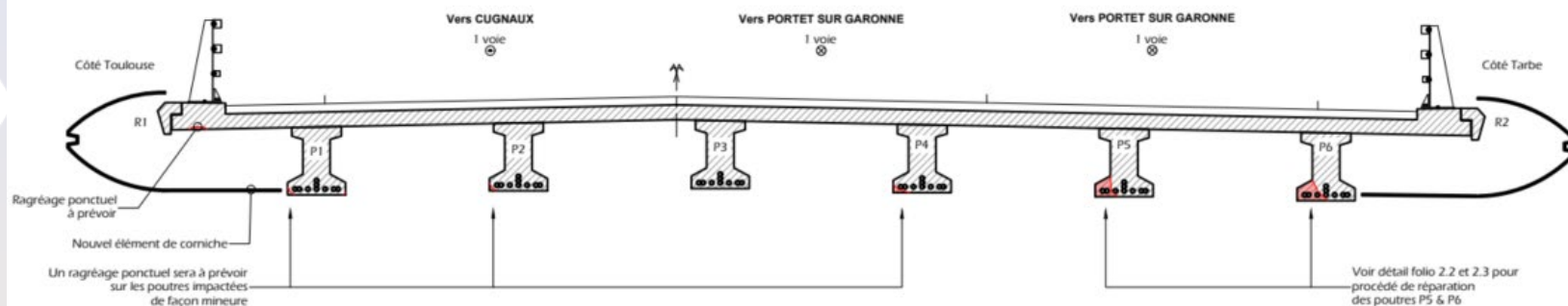
- Décoffrage  
=> Application d'un LHM car surface du BFUP rétrofléchissante



# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- 2 talons de poutre VIPP (P6 = rupture complète 1 câble + rupture partielle sur 2 câbles, P5 = rupture partielle sur 2 câbles, 8 câbles de précontrainte au global par poutre)
- Prototype échelle 1
- Travaux de nuits (env. 10 à 15 nuits)
- Longueur plus importante ( $\approx 16$  m)

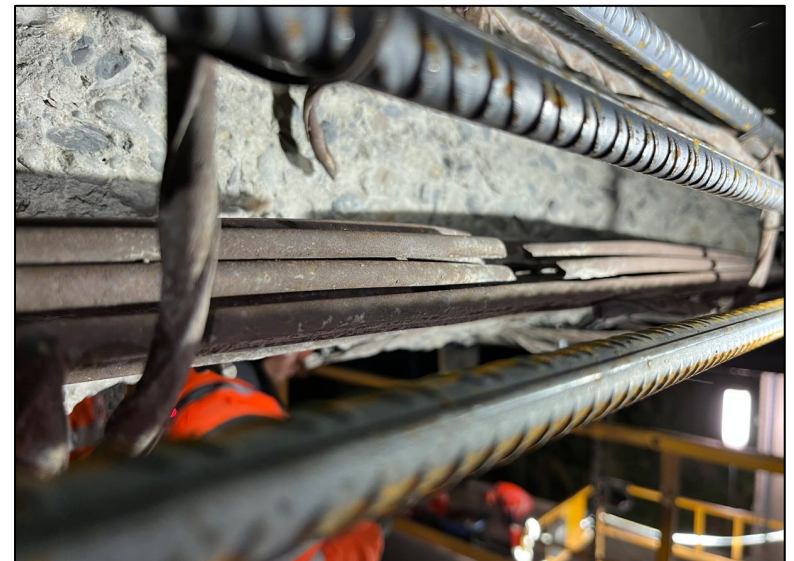




# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Endommagement sous choc

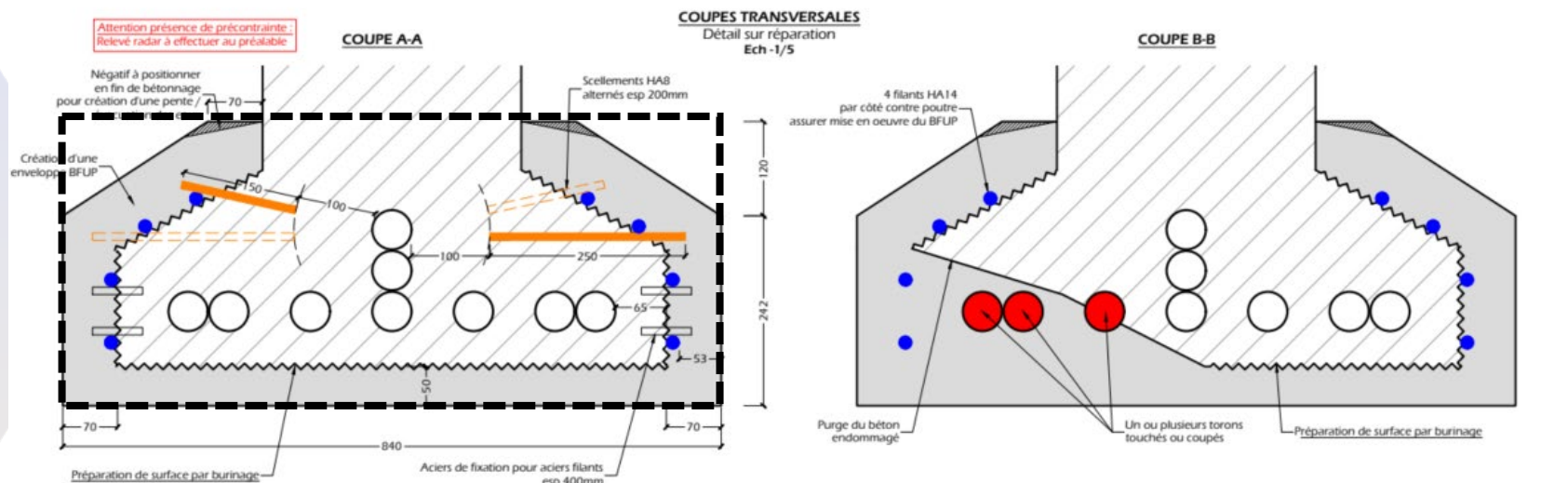


# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Conception

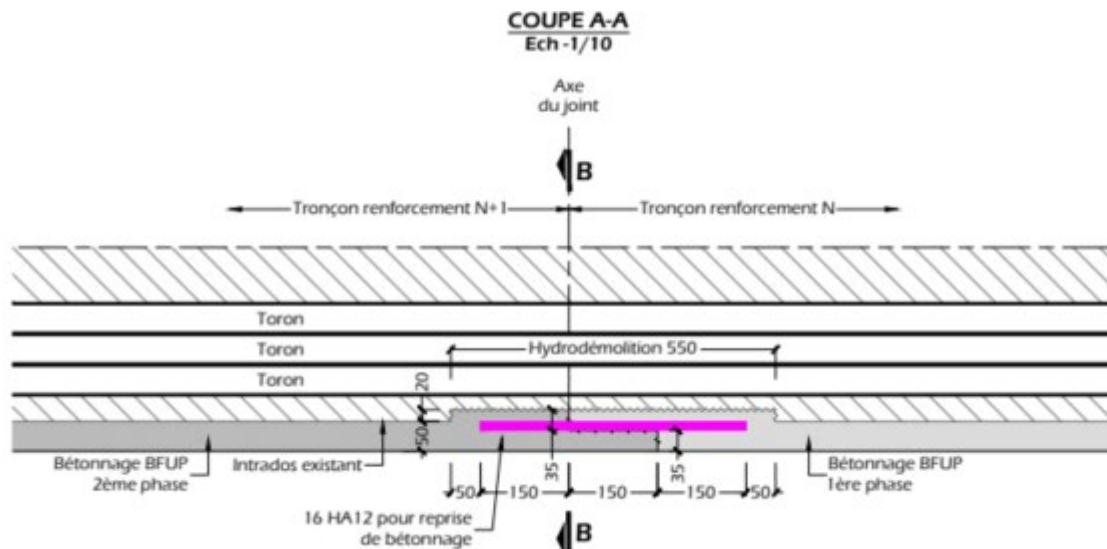
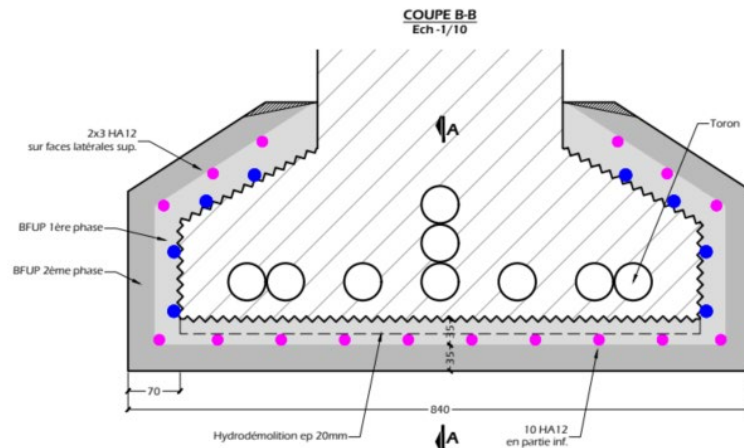
Adaptation entreprise = augmentation de la section BFUP pour faciliter le coffrage



# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Conception  
=> Possibilité au marché de faire des joints (2 max)





# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Convenance
  - ⇒ Reproduction du défaut
  - ⇒ Mise en eau du coffrage





# Renforcements BFUP

## Chantier 2

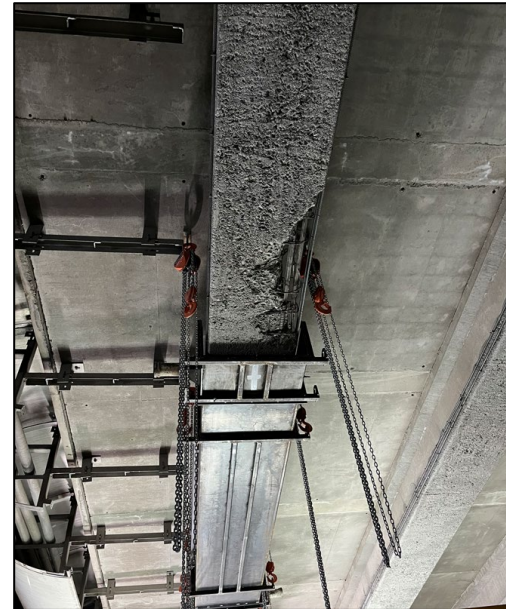
- Préparation de surface  
⇒ Piquage prévu au marché,  
hydrodécapage finalement  
**≈ 1 nuit pour les 2 poutres**  
+ piquage surface en biseau du talon



# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Coffrage

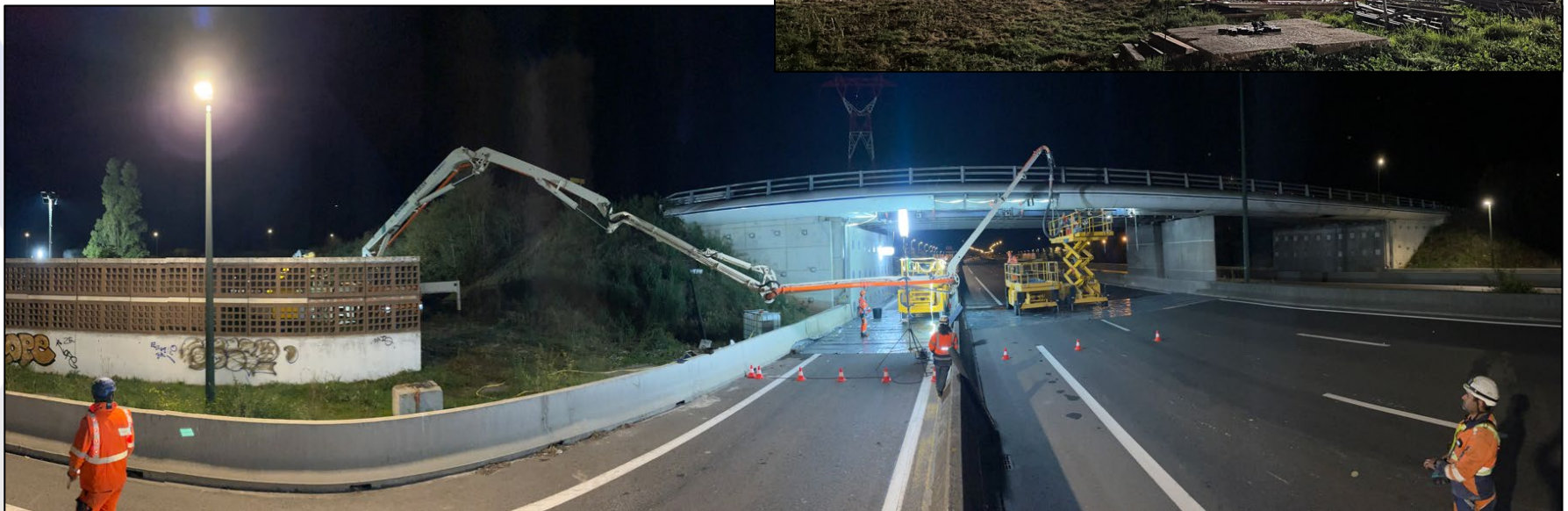




# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Bétonnage  
=> bras de la pompe  $\approx 35$  m



# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Bétonnage
  - ⇒ 2 gâchées nécessaires pour pousser la matière
  - ⇒ Étalement à chaque gâchée

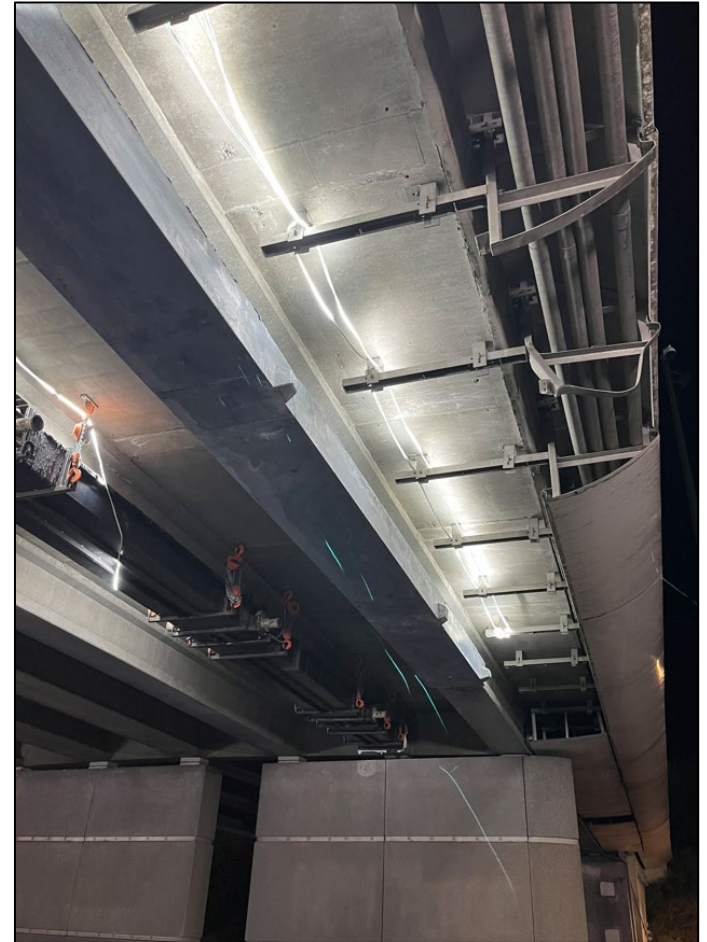




# Renforcements BFUP

## Chantier 2

- Décoffrage

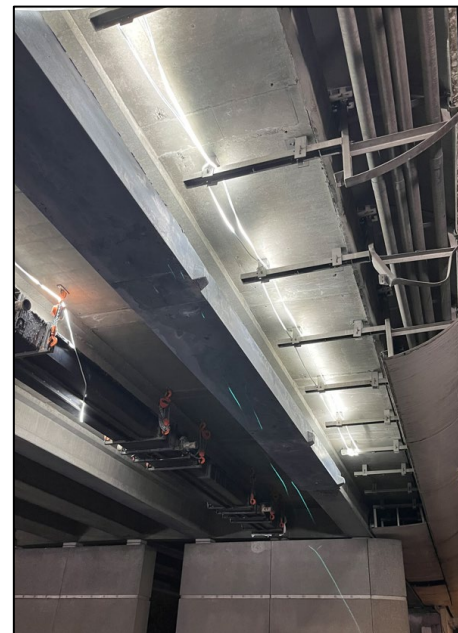


# Renforcements BFUP

## Retour d'expérience

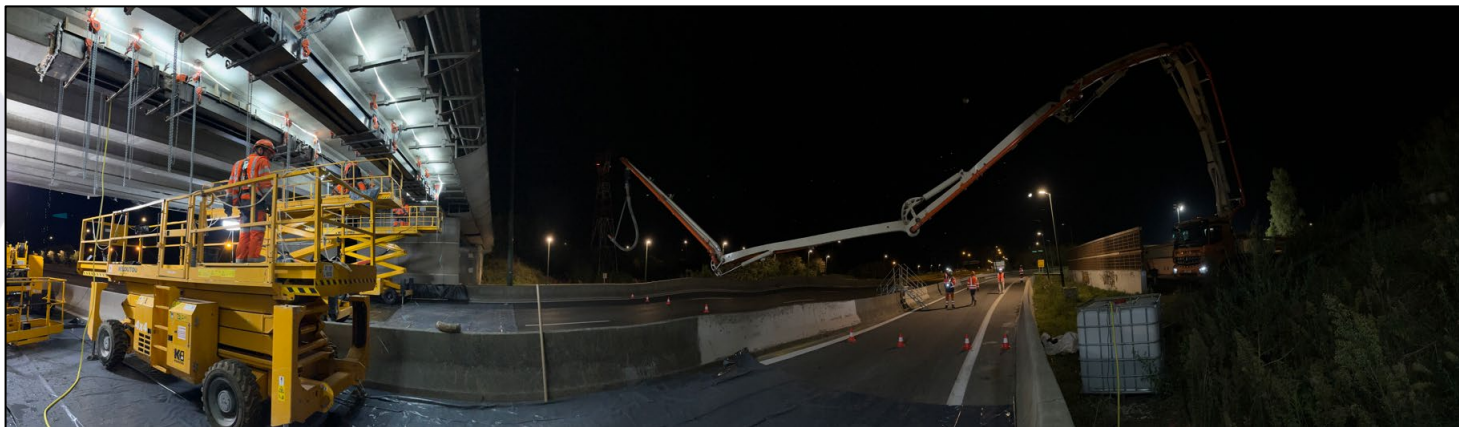
- Complexité de la mise en œuvre du BFUP
  - Importance des convenances
- Résultats finaux probants malgré des difficultés de mise en oeuvre
- Intérêt technico-économique confirmé,
- Pratique à renforcer pour montée en compétences de l'ensemble de la chaîne d'acteurs

Potentiel d'applications dépassant largement celui des renforcements sous choc.



# Quelques éléments à retenir

- Aucune poutre précontrainte n'est complètement résistante au choc, en tenir compte dans les choix de conception
- Garder une approche pragmatique dans les mesures conservatoires
- Potentiel des applications BFUP en réparation de zones modérément tendues



# Merci



Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil