

IMGC

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

IMGC

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



IMGC

Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil

LA GESTION DES OUVRAGES D'ART EN SITUTATION DE CRISE

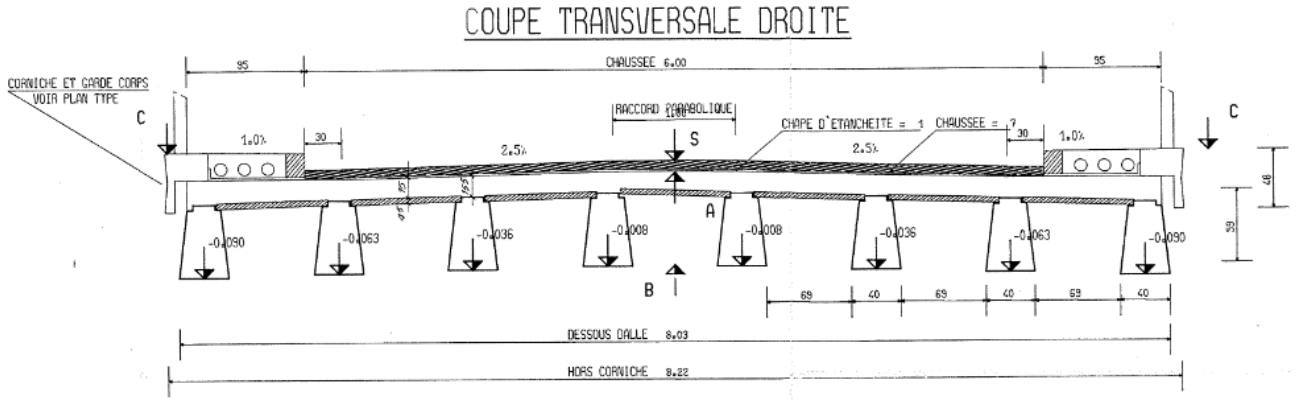
Diagnostic et renforcement de poutres précontraintes endommagées par choc routier

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







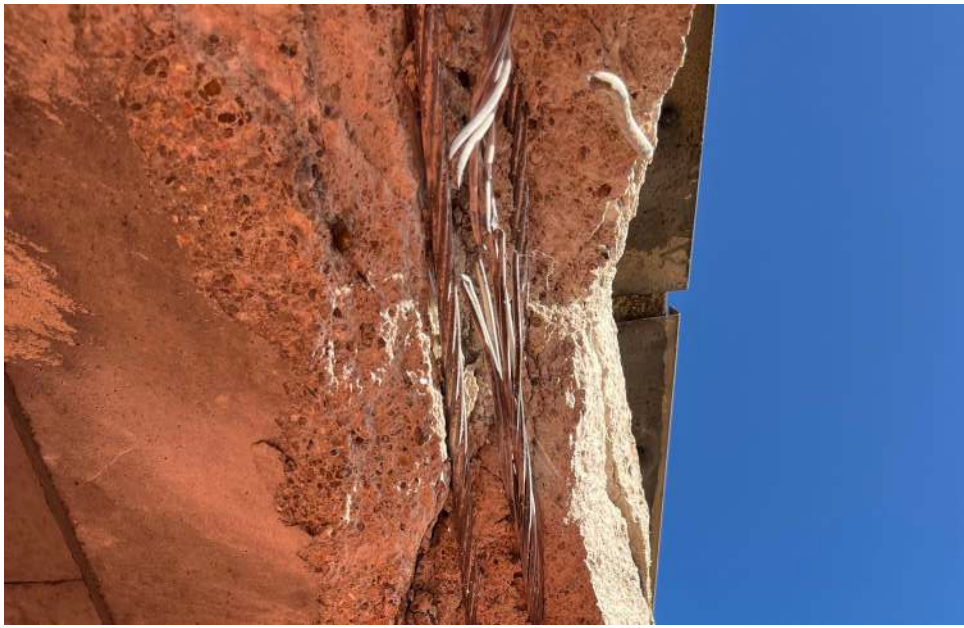
Chocs

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

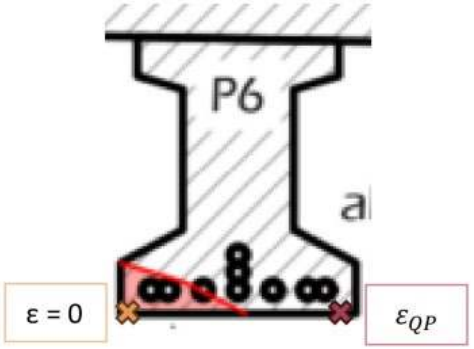


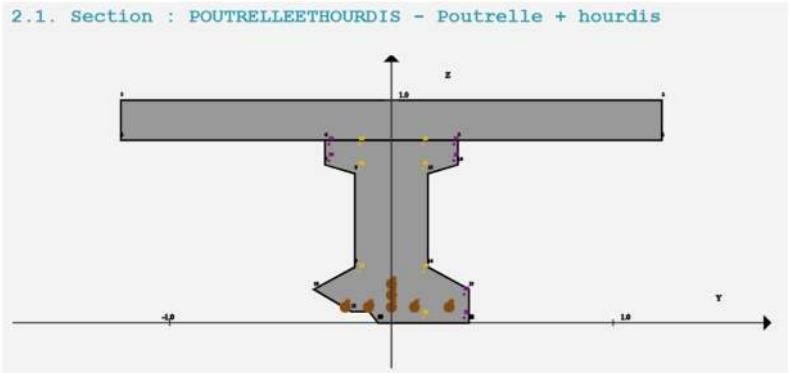


Problématiques spécifiques

Ouvrages précontraints

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



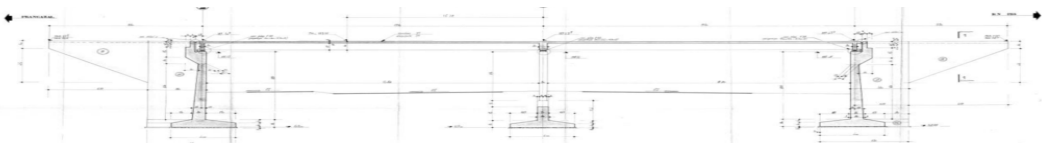


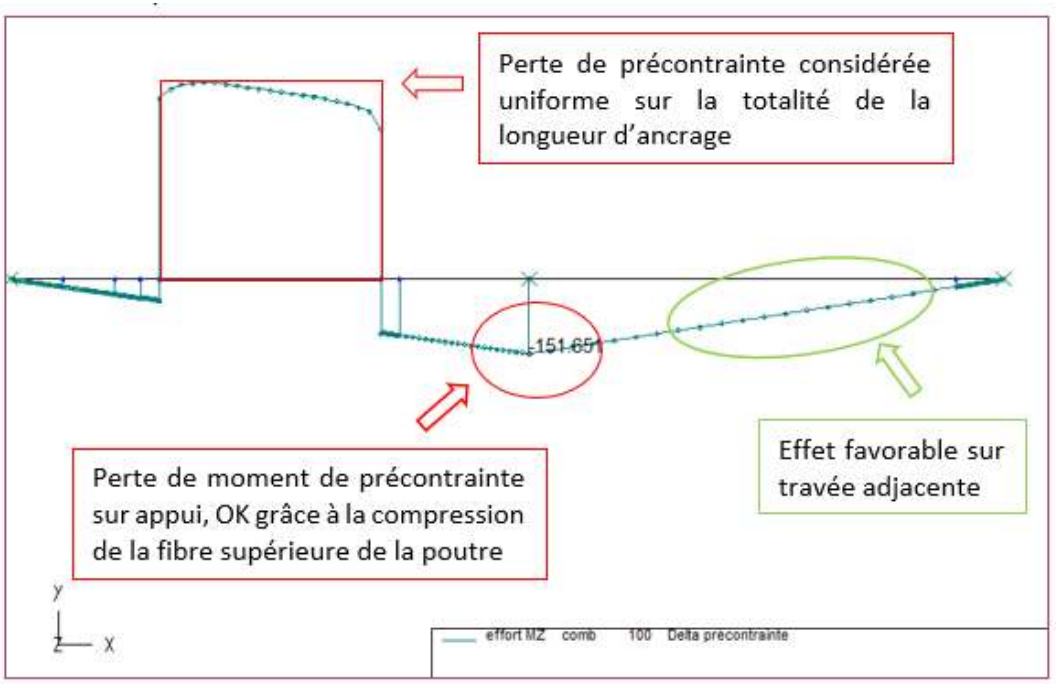
Problématiques spécifiques

Ouvrages précontraints

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

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





IMGC

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

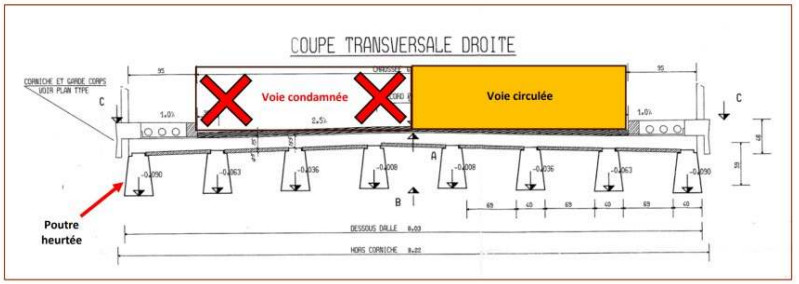
Mesures Conservatoires

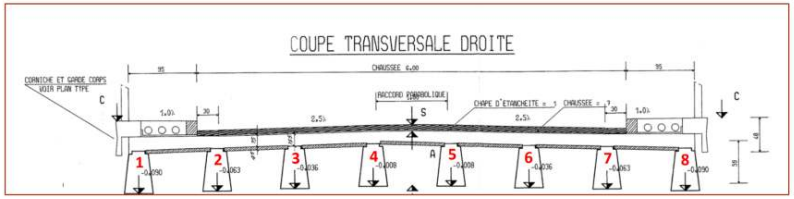
- Premier risque = chute d'éléments
  - Privilégier les systèmes simples



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



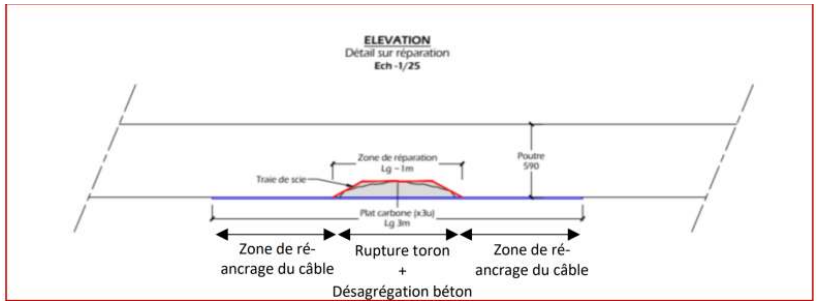


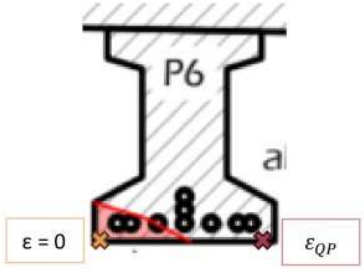
Gonfig. initiale	**1.445**	1.588	1.527	1.527	1.588	1.445	1.159
Config. alternat	**0.386**	0.640	0.981	1.296	1.406	1.273	1.019
Comp. (%)	**27 %**	40 %	64 %	85 %	89 %	88 %	88 %

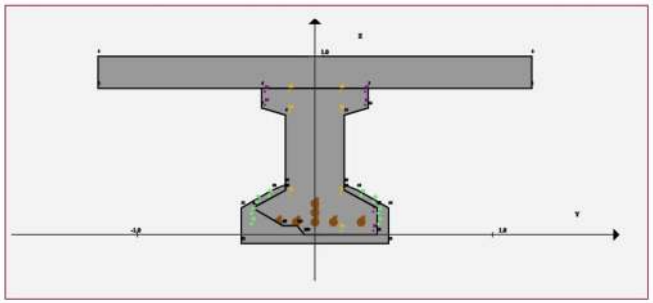
Les différents temps d'action

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







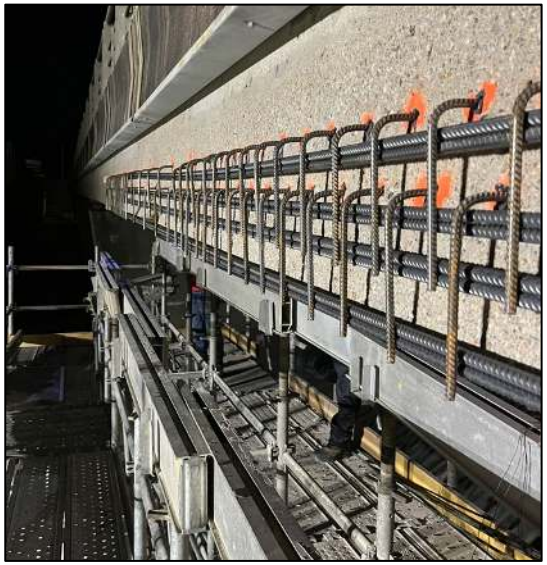
IMGC

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

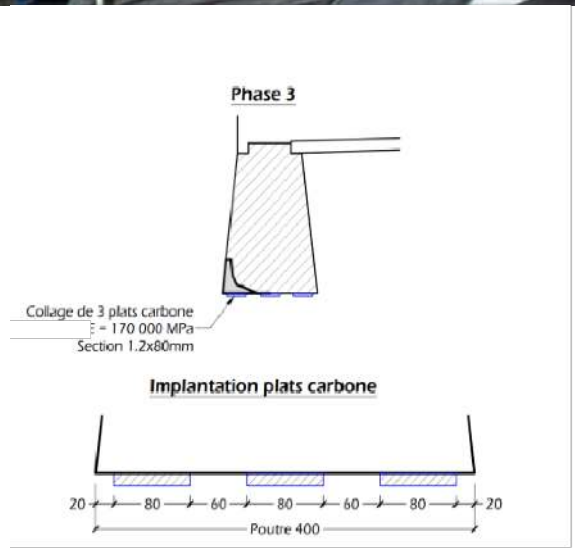
Ne rétablit pas le champ de contrainte initial

Fonctionnement potentiel en section fissurée

Adaptés à des endommagements limités

Exposition aux chocs futurs





IMGC

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



Référence présentée: Sika CarboSTress
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)

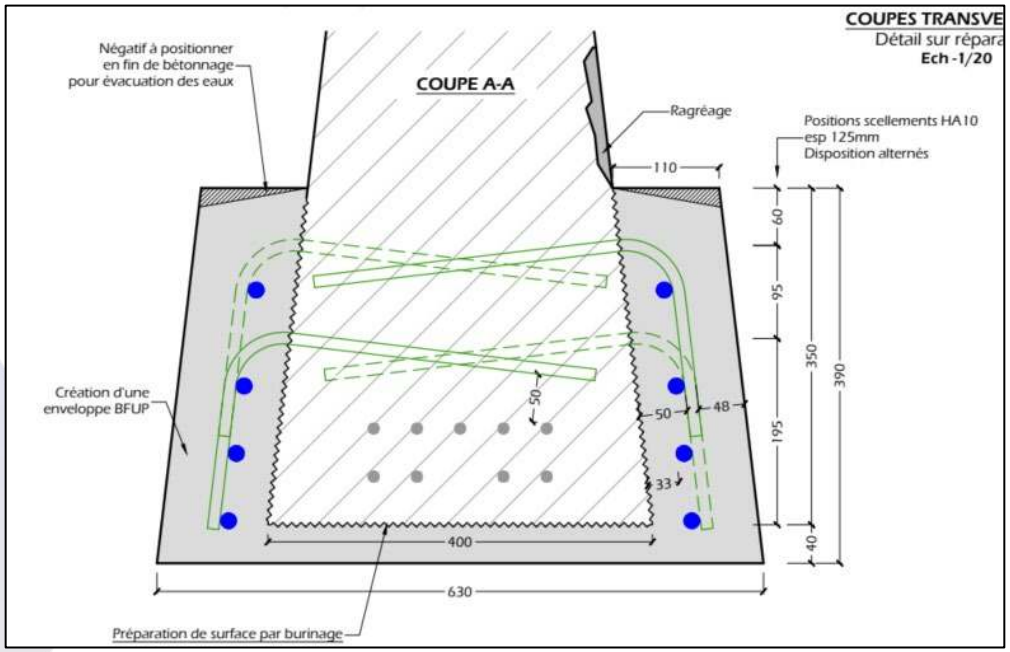
- Travaux complexes :
  - Coût,
  - Contraintes d'exploitation

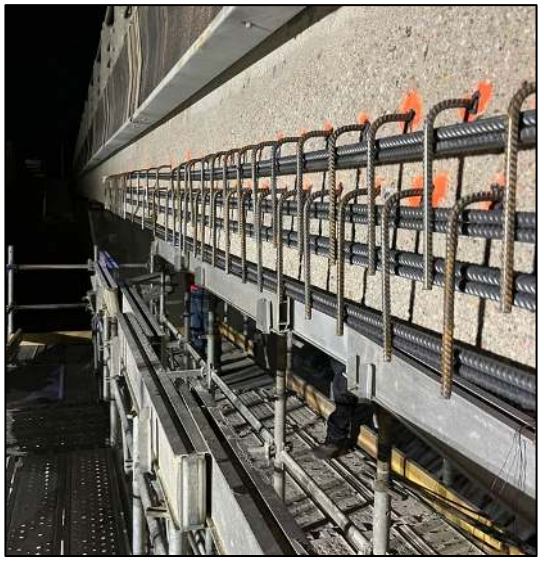




Solution Innovante

Le talon BFUP en traction écrouissante



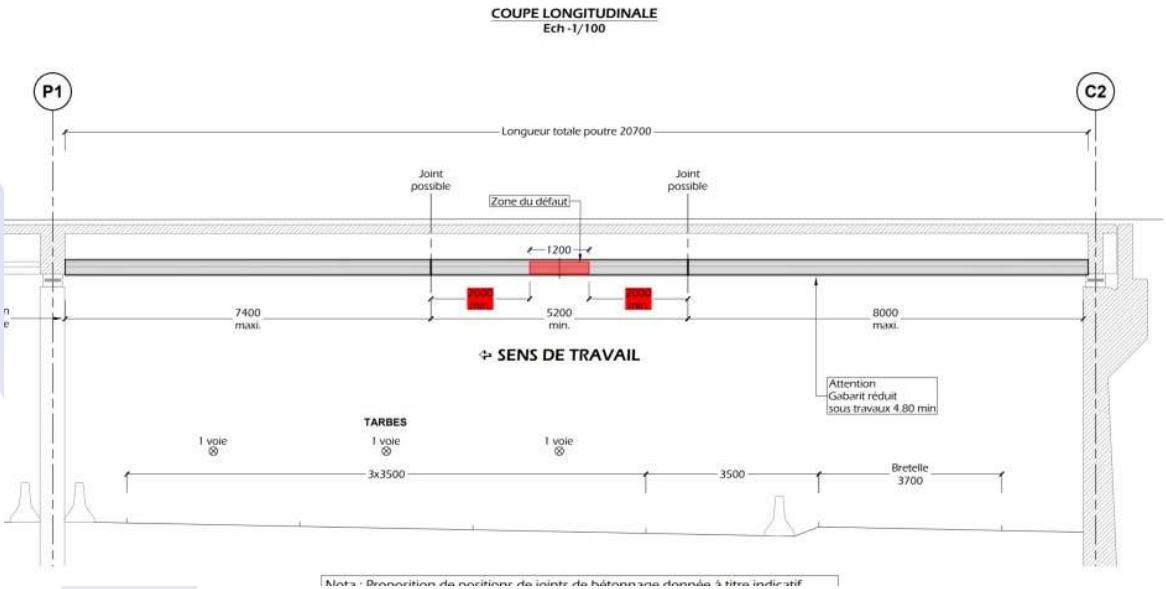


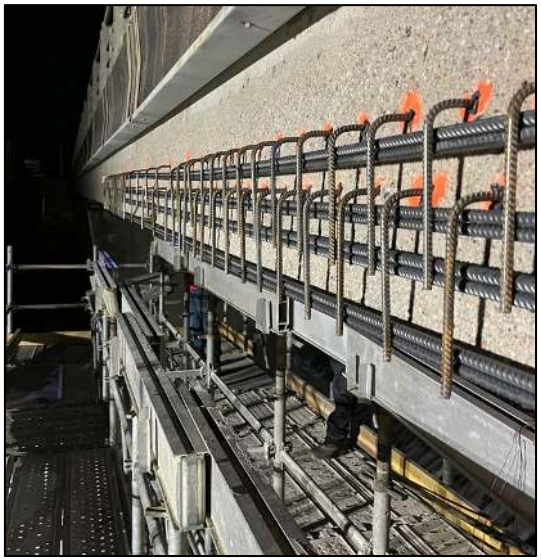


IMGC

Solution Innovante

Le talon BFUP en traction écrouissante





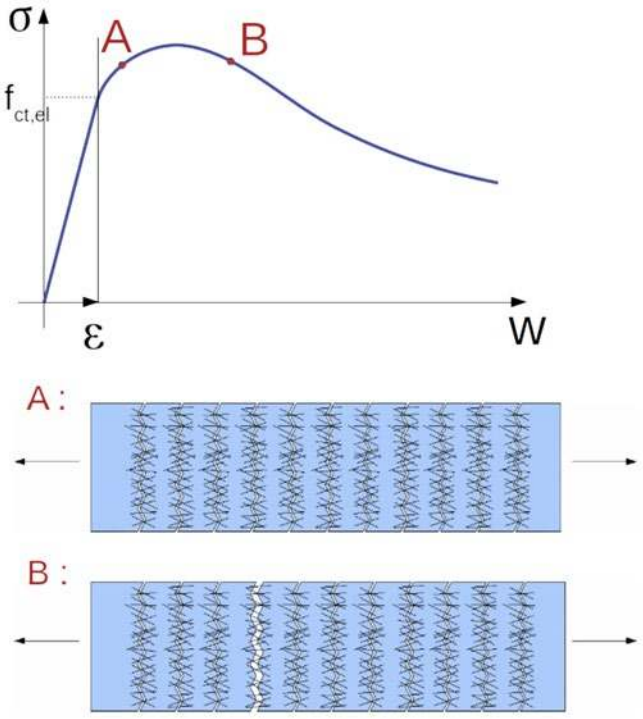


IMGC

Renforcement BFUP

Rappel:

Le BFUP et la traction





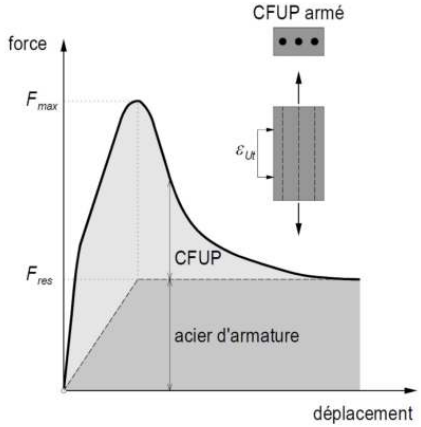


Fig. 3.7 Superposition du comportement en traction du CFUP (avec écrouissage) et de la barre d'armature.

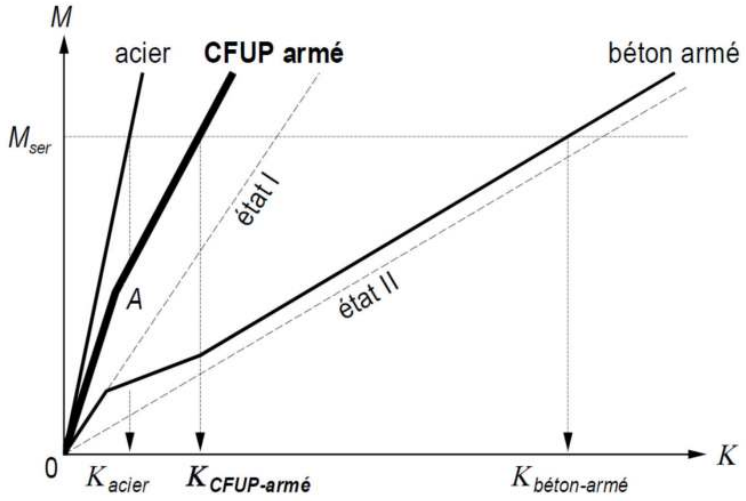
IMGC

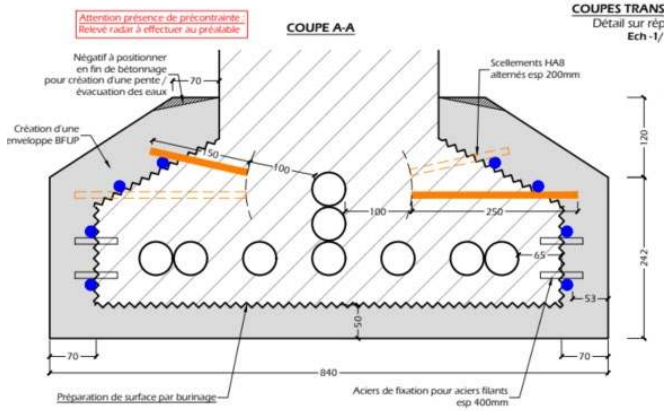
Renforcements BFUP

Les idées clés du renforcement

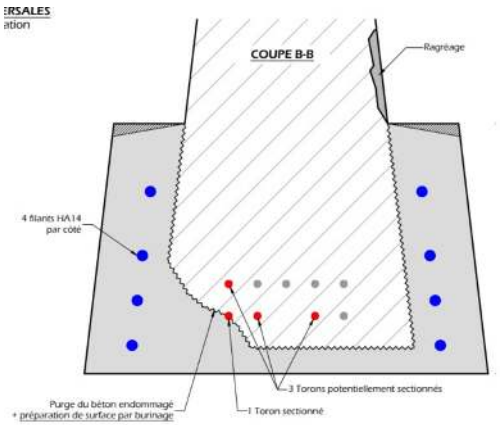
- Donner une déformation supplémentaire ELS
- Renforcer le moment ELU
- Voire garantir un effet de Pontage de l'effort tranchant
- Adhérence BFUP / Poutre par adhérence
- Fonctionnement ELS du BFUP dans domaine écrouissant

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



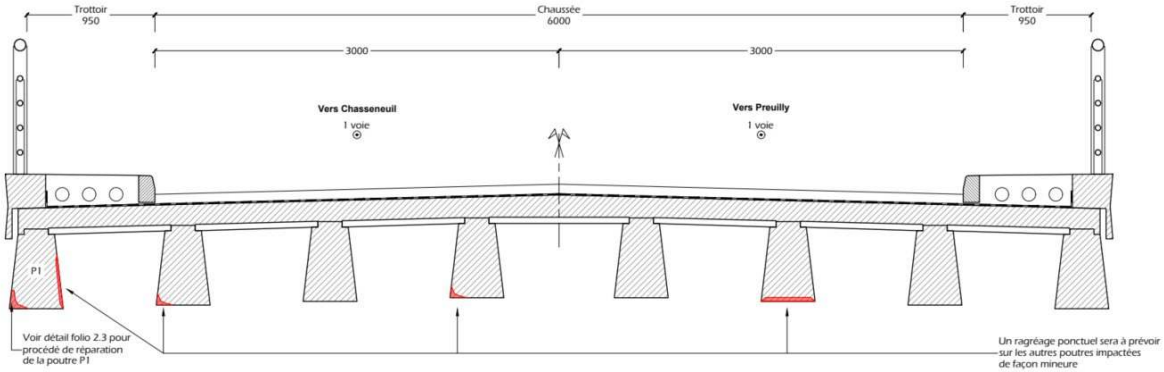


Renforcements BFUP



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

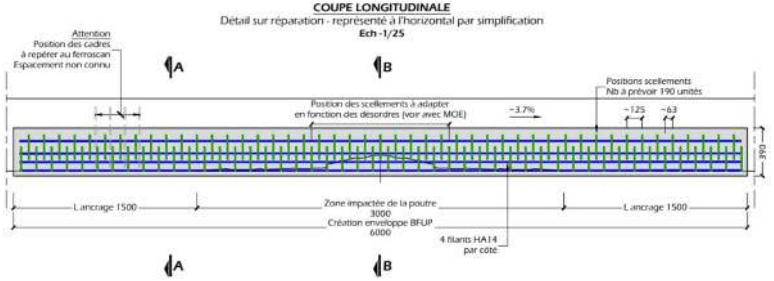
Chantier 1

- Endommagement sous choc



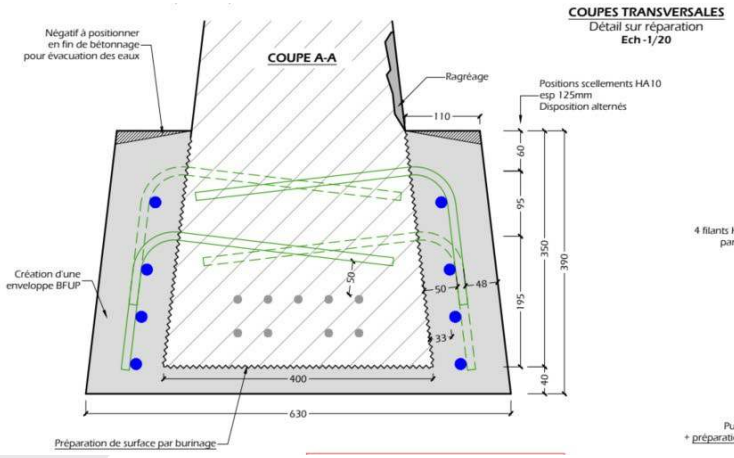
Renforcements BFUP

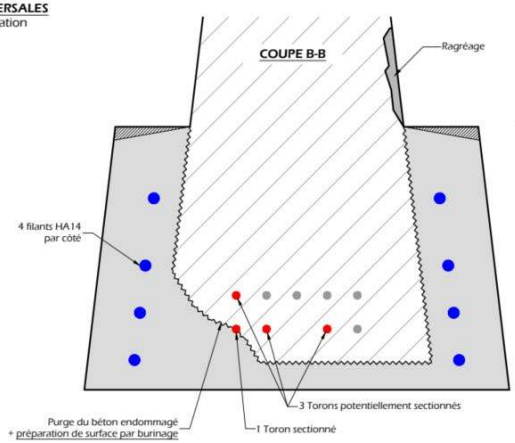
Chantier 1

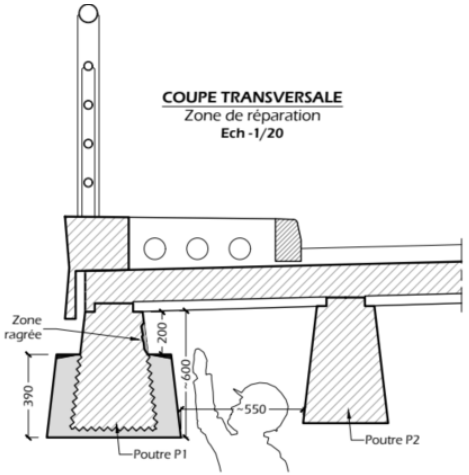


- Conception

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

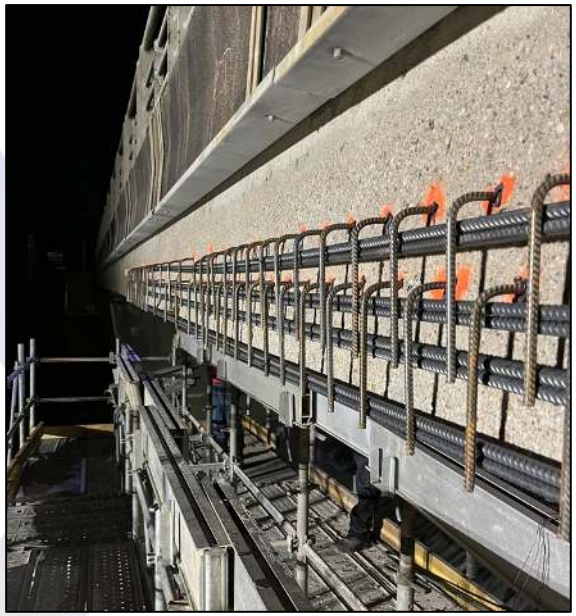
≈ 1h/m² (poste sous-évalué)



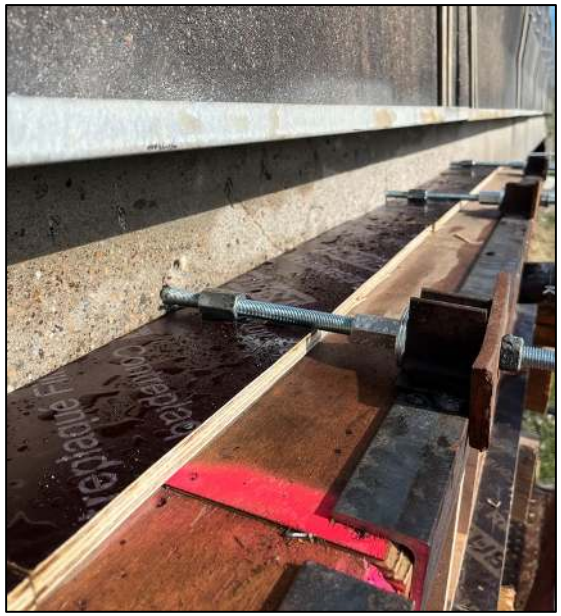
Renforcements BFUP

Chantier 1

- Coffrage







Renforcements BFUP

Chantier 1

- Bétonnage







Renforcements BFUP

Chantier 1

- Décoffrage

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

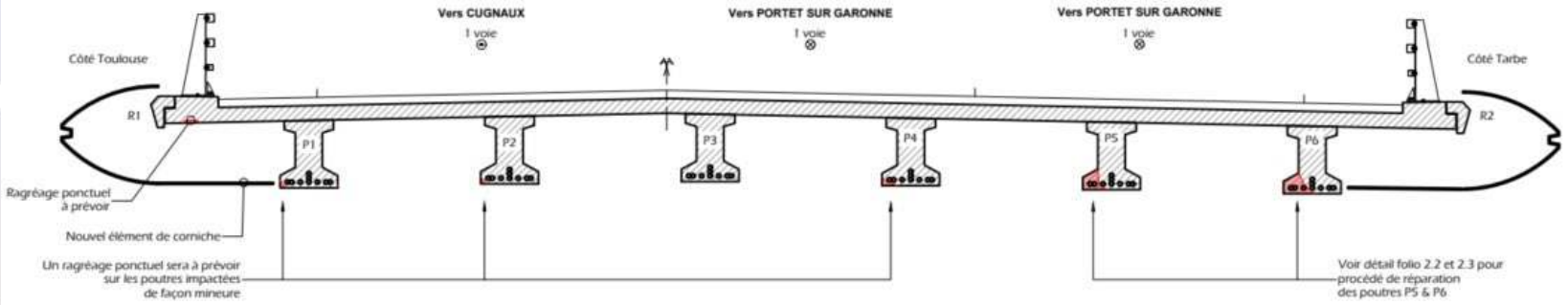




Renforcements BFUP

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 (≈ 16 m)



Renforcements BFUP

Chantier 2

- Endommagement sous choc



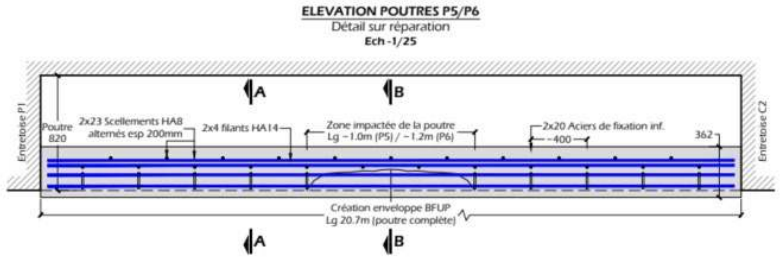




IMGC

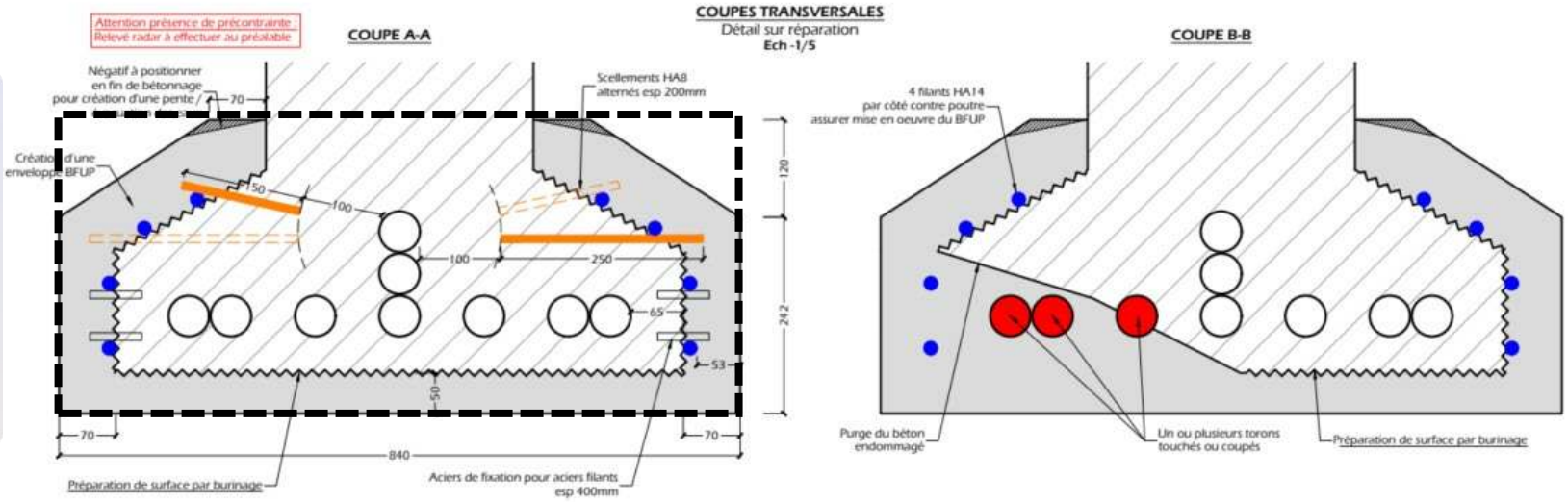
Renforcements BFUP

Chantier 2



- Conception

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

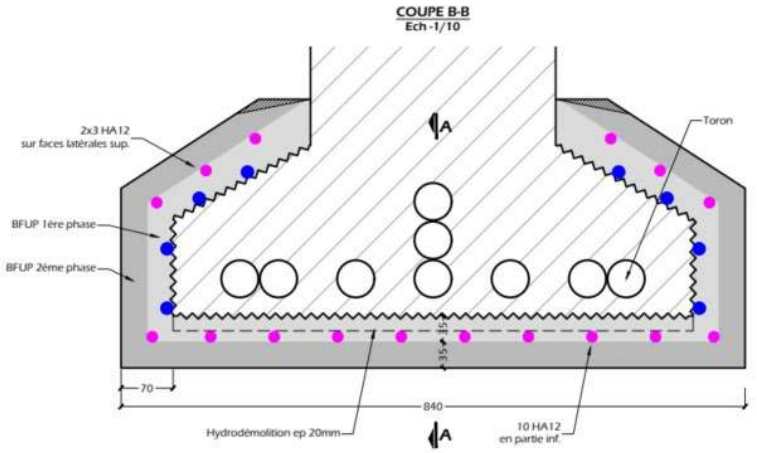


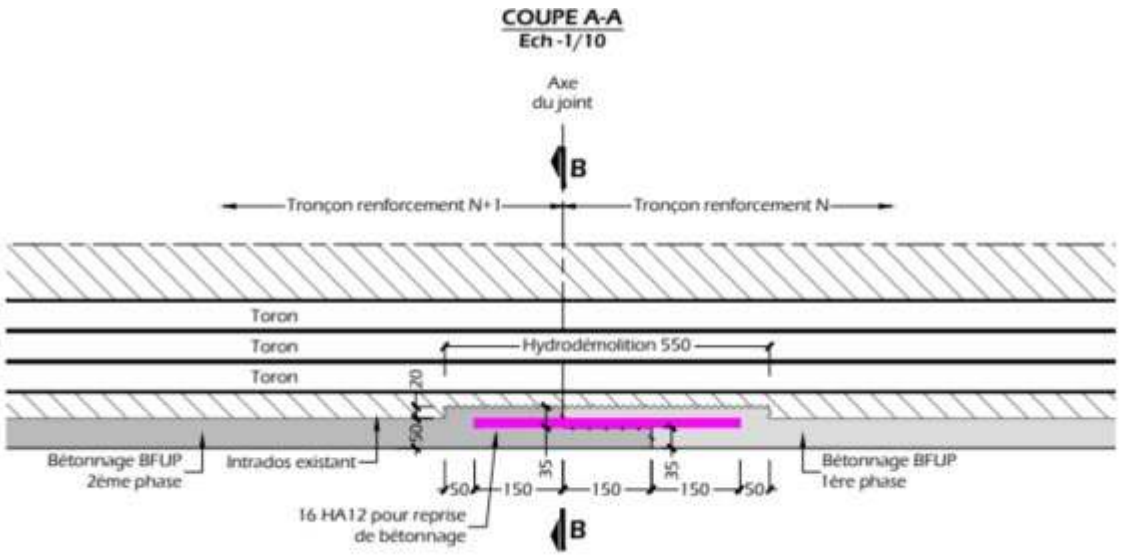
Renforcements BFUP

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









IMGC

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



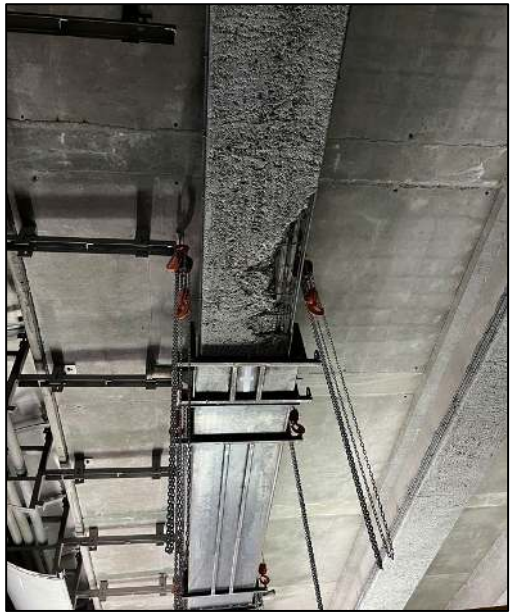
Renforcements BFUP

Chantier 2

- Coffrage







Renforcements BFUP

Chantier 2

- Bétonnage

=> bras de la pompe ≈ 35 m





Renforcements BFUP

Chantier 2

- Bétonnage

⇒ 2 gâchées nécessaires pour pousser la matière

⇒ Étalement à chaque gâchée







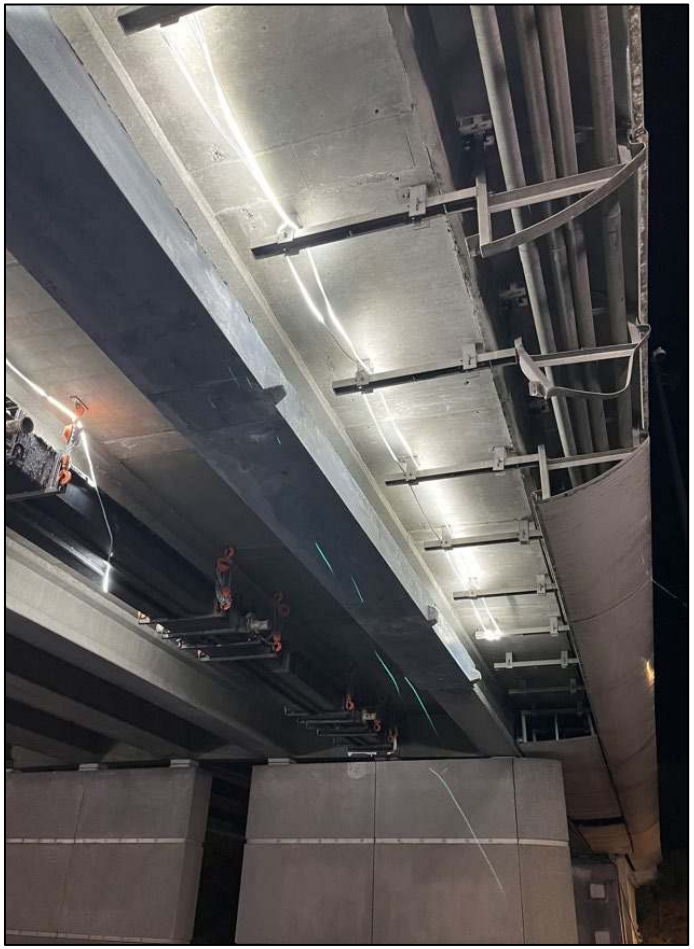
IMGC

Renforcements BFUP

Chantier 2

- Décoffrage



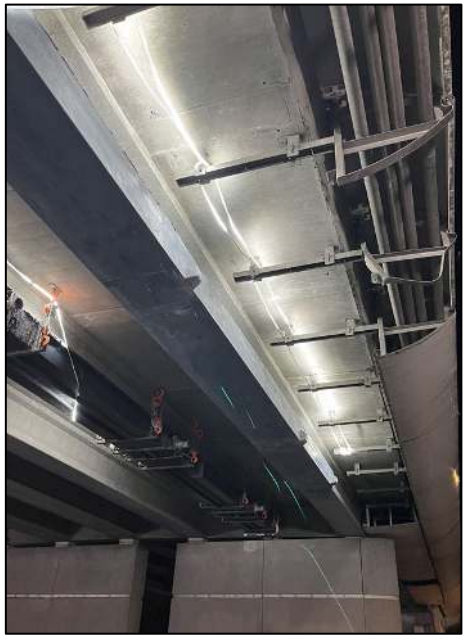


Renforcements BFUP

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 chaine d'acteurs

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





IMGC

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

IMGC

Ingénierie de la Maintenance du Génie Civil