



RN 70 - Renforcement d'une buse métallique par projection de BFUP

Retour d'expérience sur le 1^{er} site expérimental

David CHAMOLEY



Benoit CLEMENT



Sommaire

- A. Présentation du site expérimental
- B. Etudes préparatoires aux travaux
- C. Phasage des travaux
- D. Contrôles d'exécution

A. Présentation du site expérimental

RAPPEL :

En 2016, un des lauréats de l'appel à projets d'innovation du CIRR :

« Régénération et renforcement de tunnels, voûtes, buses métalliques et galeries par coque ultra mince en BFUP projeté »



→ Voir la présentation de S.Bouteille au ROA 2018 (= études amont au chantier)

“ Buse à bétail ” sur la RN70 (RCEA) en Saône et Loire – MOA DIRCE



Caractéristiques :

- Date de construction : 1971
- Type ARMCO
- Buse circulaire
- Diamètre : 3,65 m
- Longueur : 25 m (hors sifflets)
- Couverture : 1,25 m
- Profil en long : 5,20 %
- Présence d'un radier béton
- Distance entre onde 150 mm - Profondeur d'onde 50 mm



Principaux désordres :

- Enrouillage avec percements localisés (IQOA 3)
- Trace de chocs ⇒ contrainte de gabarit

“ Buse à bétail ” sur la RN70 (RCEA) en Saône et Loire – MOA DIRCE

Pourquoi cette buse ?

- Buse faisant partie des buses à réparer du programme de la DIRCE
- Pas de possibilité de réduire le gabarit,
- Buse non hydraulique → Diminution des contraintes de travaux pour un 1^{er} chantier expérimental,
- Dimensions raisonnables,
- Accès simple avec possibilité d'installation à proximité immédiate



B. Etudes préparatoires aux travaux

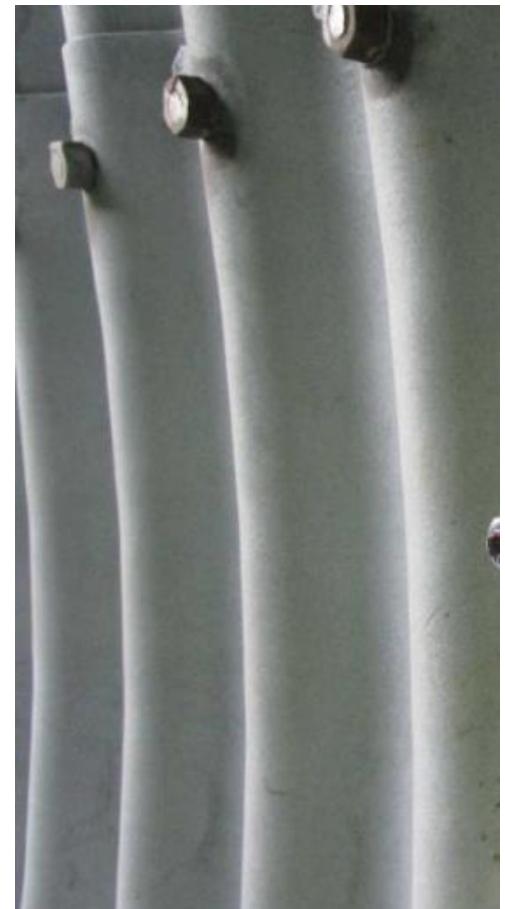
Diagnostic amiante et plomb (janv 18) :

→ **Impact sur les travaux d'hydroadécapage**

Consistance : Analyse chimique

Objectifs : Vérifier le risque sanitaire lors de l'enlèvement de la peinture recouvrant la buse

→ **Résultats** : Peinture **sans** amiante ni plomb



Sondages géotechniques (fév 18) :

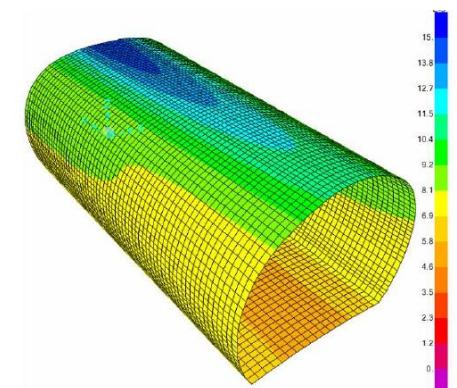
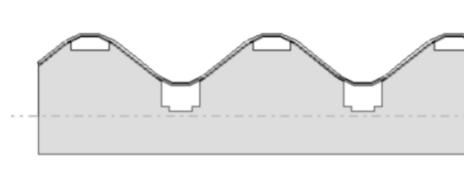
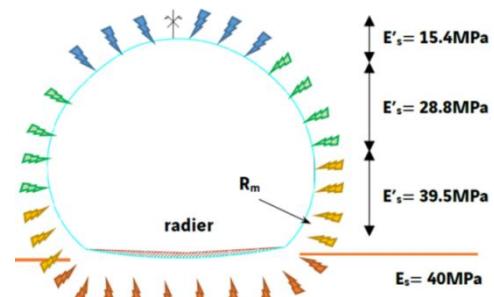
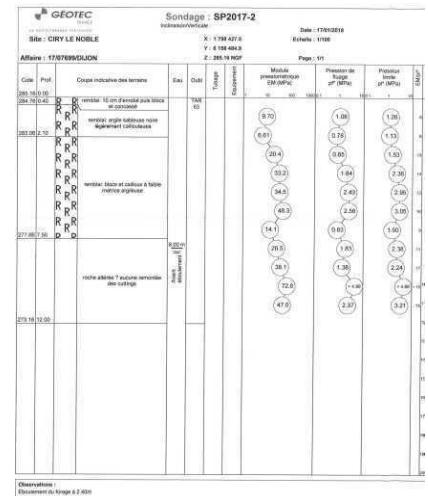
→ Impact sur le dimensionnement de la coque de réparation en BFUP (3 cm sur ondes et 8 cm en creux)

Consistance : 2 sondages géologiques et pressiométriques

Objectifs : Vérifier les caractéristiques géotechniques du remblai (nature, épaisseur des couches, compacité) et évaluer les charges extérieures sur la buse

→ Résultats obtenus :

- Note de calculs pour justification des épaisseurs de BFUP (yc l'enrobage des boulons de liaison)
- Modélisation 3D avec Module de sol



Reconnaissance du radier existant (fév 18) :

→ **Impact sur la consistance des travaux en BFUP**
(coque discontinue avec radier en BA liaisonné)

Constance : 2 fouilles en radier au niveau de chaque tête

Objectifs : Vérifier la position des réseaux identifiés lors de la DT (1 gaz, 1 HTA) - Relever les dimensions du radier béton et de son état - Vérifier la position du fond de fouille



→ Résultats : Conformes aux attentes

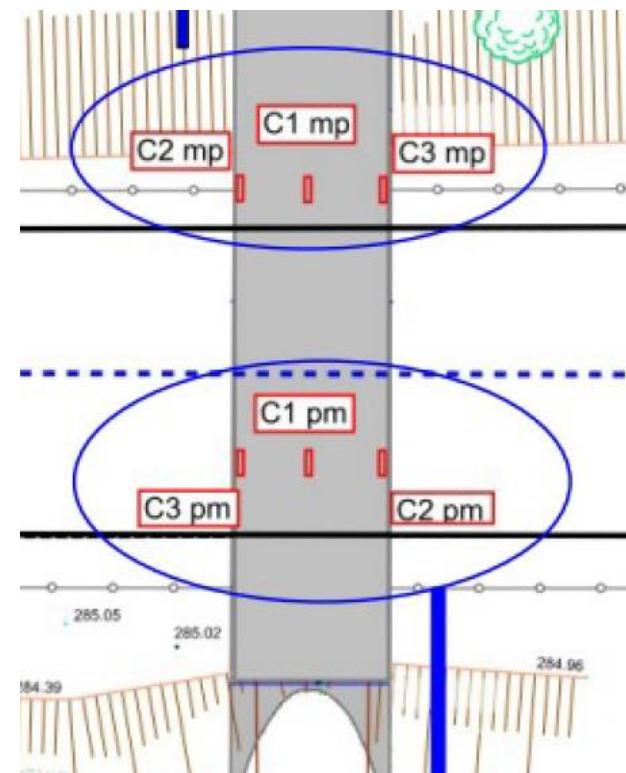
Analyses vibratoires (avril 18) :

→ **Impact sur l'exploitation de la voie portée pdt les travaux** (limitation de la vitesse, alternat...)

Consistance : Mesures vibratoires

Objectifs : Vérifier le risque de décollement du BFUP fraîchement projeté en voûte engendré par des micro-vibrations du trafic PL sur la buse **sous faible couverture**

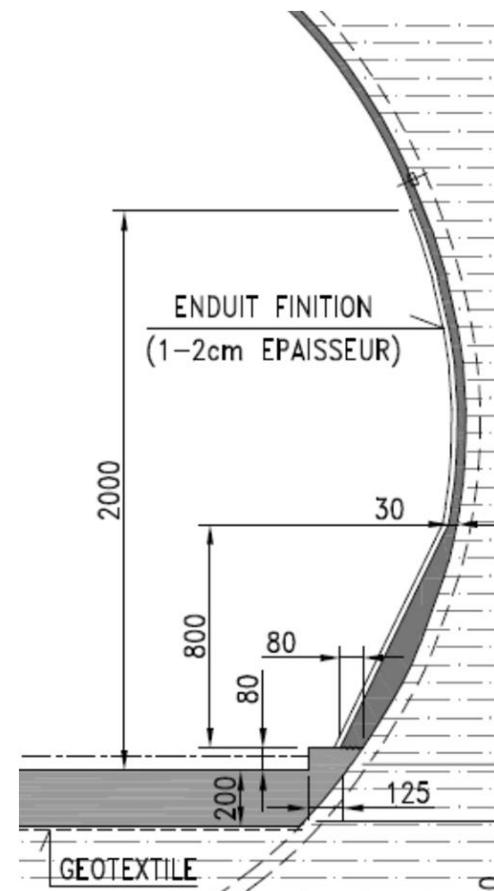
→ **Résultats** : Vitesse vibratoire inférieure au seuil de 2 mm/s (*cas le + défavorable dans le référentiel SNCF*)



C. Phasage des travaux

PROCEDURE D'EXECUTION :

- 1 – Hydrosablage léger de la buse
- 2 – Démolition / reconstruction du radier en BA
(présence de réseaux)
- 3 – Préparation du joint de reprise radier / voûte
- 4 - Pose des gabarits d'amorces des piédroits (+ large)



5 – Pose des gabarits entre **anneaux** de projection

Complément en cours de chantier : Mise en place de ferraillage de continuité entre chaque anneau (meilleure gestion si reprise non prévue entre anneaux)



6 – Pose de ferraillage de continuité pour joints de reprise entre **plots**

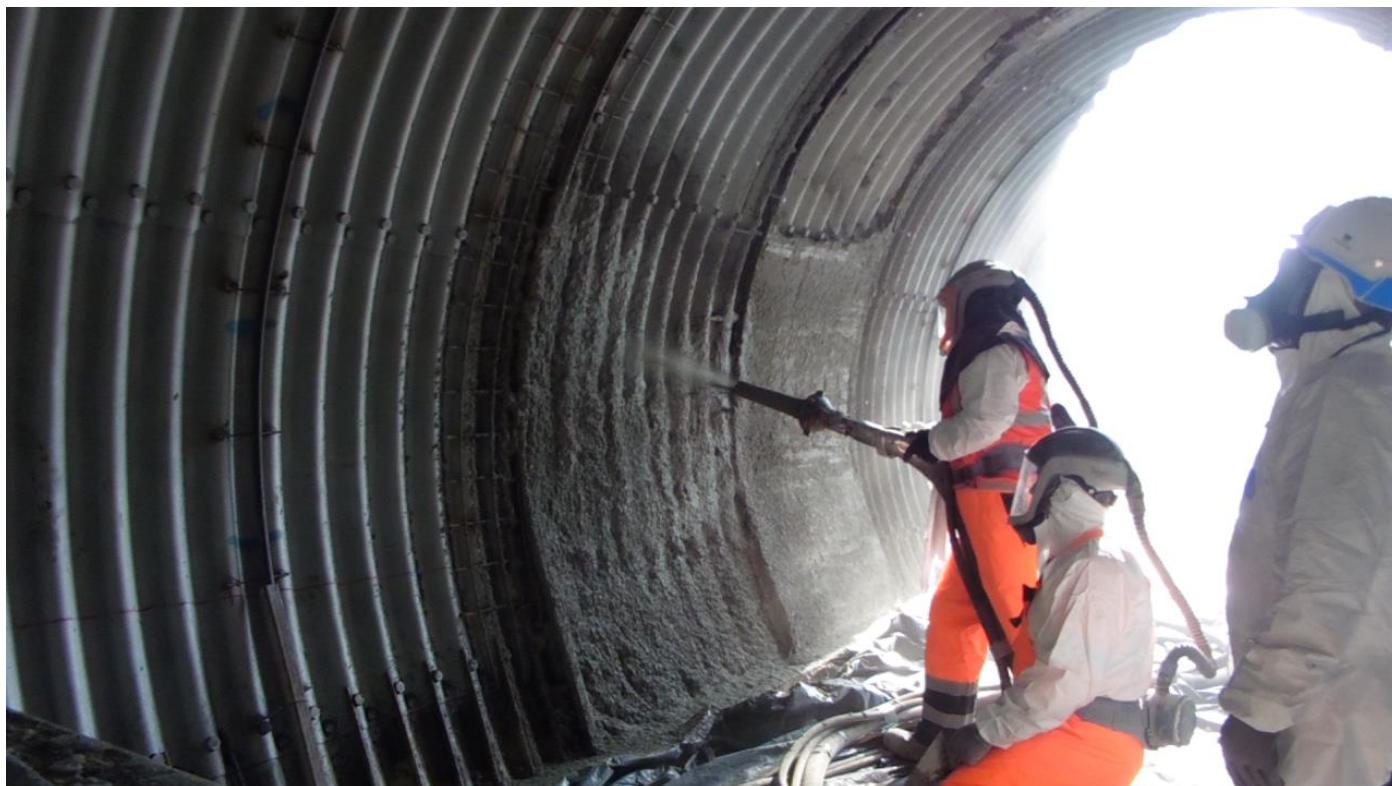
(1 plot journalier = 4 anneaux de 1,25 m)

Complément en cours de chantier : Suite à une chute de plaque en voûte, mise en place d'un treillis soudé non structurel

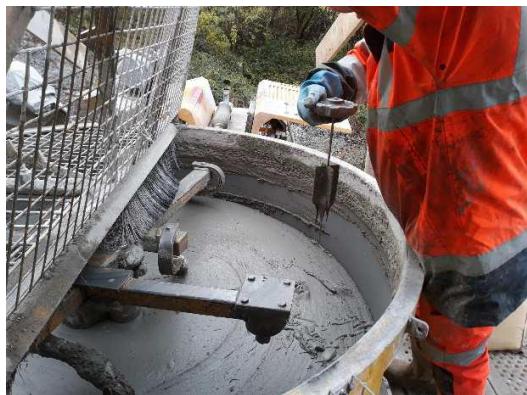


7 – Projection de la coque en BFUP (3 cm sur ondes – 8 cm en creux)

Procédure : Epaisseur en 2 passes (remplissage des ondes puis épaisseur constante) – Projection alternée pour assurer un temps de durcissement suffisant (pianotage des passes et des anneaux avec délai max de 4 heures) – Cure chimique par plot.



NB : Spécificité du poste de production du BFUP avec une équipe dédiée :
Dosage - Malaxage – Pompage – Projection (2 projeteurs)



8 – Réalisation d'un enduit de finition sur la hauteur des piédroits



9 – Réalisation des aménagements extérieurs en têtes



D. Contrôles d'exécution

Plan de contrôles :

- Vérification des travaux préparatoires à la projection :
 - Réception de la matière première (BigBags de Prémix, adjuvants et fibres),
 - Préparation de surface,
 - Pose du ferraillage de reprise de plot,
 - Pose des gabarits radiaux d'épaisseur d'anneau.

- Epreuves de **convenance** sur le premier plot projeté puis épreuves de **contrôle** :
 - Contrôles de fabrication (dosages, T °C, affaissement/diamètre au cône DIN, scissomètre, ajustement adjuvant...),
 - Réalisation de caisses 600x600x165 et 500x600x100 mm (pour Rc et Rf) + 1 caisse sur tôle ondulée,
 - Contrôle après projection (tenue en voute, épaisseur, dosage en fibres).



Contrôle intérieur :

= levée des points sensibles et critiques

- Rigueur dans le respect du protocole de fabrication (ajustement du dosage en adjuvant = impact direct sur la qualité du BFUP),
- Contrôle visuel de l'épaisseur appliquée (gabarit),
- Mesure de teneur en fibres,
- Essais de résistance (Rc pour essais contradictoire et Rf).



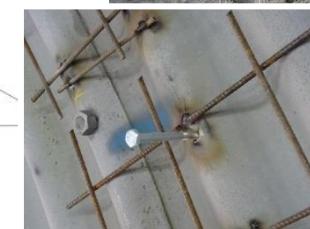
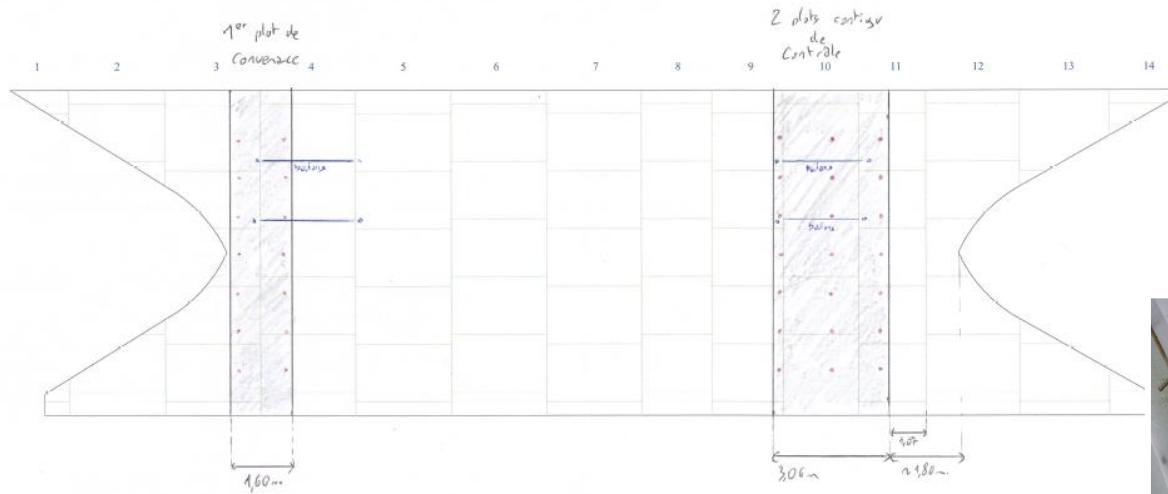
Contrôle extérieur (CEREMA) :

= levée des points d'arrêt

- Contrôle de réception (levée des PA)
- Suivi d'application des procédures et respect du programme de contrôle,
- Contrôle de résistance (respect de l'engagement minimal Rc28),
- Contrôles de l'épaisseur en place (pige),
- Inspection Détailée Initiale (IDI).



Paray le Monial



Quelques résultats :

- Résistance à la compression
 - 24 h \approx 65 MPa,
 - 48 h \approx 95 MPa,
 - 7 jrs \approx 125 MPa,
 - 13 jrs \approx 150 MPa,
 - 28 jrs 144, 163 et 172 MPa,
- Epaisseur en place
 - Variable suivant les zones et la position (piédroit/voûte) mais globalement +1 cm
- Rappel :
 - visé 3,0 cm au droit de chaque onde,
 - visé 1,0 cm au droit des boulons.
- Résistance en flexion
 - Essais de flexion 4 pts : $f_{ct,el} = 7,43 \text{ MPa} > 6,3 \text{ MPa}$
 - Essais de flexion 3 pts : σ_{moy} équivalent = 21,6 MPa > 20,9 MPa
- Porosité accessible à l'eau / Masse volumique
 - Prélèvement 1 7,3 % / 2 360 kg/m³,
 - Prélèvement 2 10,9 % / 2 320 kg/m³.
- Teneur en fibres
 - $> 160 \text{ kg/m}^3$



Merci pour votre attention



david.chamoley@developpement-durable.gouv.fr
benoit.clement@cerema.fr