

**Comportement à long terme de structures améliorées au moyen de BFUP**

Bilan des inspections et des auscultations à l'aide de méthodes non-destructives sur des ponts améliorés au BFUP

Auteur(e)s : Rijad Mziu

Encadrement : Prof. Eugen Brühwiler <sup>1</sup> / Philippe Schiltz <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Maintenance, Construction et Sécurité des ouvrages (MCS)

**Motivations et objectifs**

Après une revue littéraire sur le BFUP (béton fibré ultra performant) permettant d'acquérir les connaissances de base sur ce matériau et de prendre conscience des avantages et des possibilités d'application qu'il peut apporter dans le domaine de la réhabilitation des ouvrages, 5 ponts améliorés au moyen de BFUP dans le canton de Vaud ont été inspectés. Cette « prise de contact » avec ces ouvrages permettra d'une part de dresser un premier bilan, avec un recul de quelques années sur ces interventions, quant à

l'efficacité de ces dernières, et d'autre part, de continuer ce projet en se focalisant uniquement sur deux de ces cinq ouvrages. En effet, pendant la prise de contact, des observations, que l'on peut qualifier d'étonnantes et qui mettent en doute la fonctionnalité du BFUP dans un certain type d'application de remise en état, ont pu être effectuées. Dans la mesure où les interventions réalisées au BFUP sont encore récentes (depuis 2004 en Suisse) et dans un nombre encore relativement restreints (un peu plus d'une cinquantaine de cas en Suisse), il s'agit probablement l'un des premiers cas qui montrent

des signes de « faiblesse » du BFUP en conditions in situ sur des ouvrages. Il est donc primordial de saisir l'opportunité ici de mener des investigations supplémentaires pour tenter premièrement de déterminer si ces observations remettent en question la fonctionnalité du BFUP dans certains types d'application en réhabilitation des ouvrages, et deuxièmement d'évaluer les causes possibles et les différents mécanismes qui auraient pu conduire à l'apparition de ces signes de « faiblesse ». Les conclusions qui en ressortiront pourront être utiles pour de futures interventions similaires.

**Ponts inspectés**

- Viaduc de Cudrex, Bussigny (VD)
- Pont sur la Venoge, Bussigny (VD)
- Pont des Vernettes, Montpreveyres (VD)
- Pont PI RC 549 sur RC 601, Ropraz (VD)
- Viaduc de Moudon (VD)

**Bilan des inspections**

L'inspection de 5 ponts a permis de mettre en avant les avantages et les possibilités qu'offre le BFUP, à savoir notamment une exécution rapide, des renforcements sans devoir intervenir lourdement sur la structure, une protection durable face aux agents agressifs et un système d'étanchéité des dalles de roulement efficace. Pendant les inspections, aucun signe (traces d'humidité, coulures,...) qui résulterait d'un problème d'étanchéité de la dalle n'a été constaté pour les 5 ouvrages, ce qui montre que la technologie liée au BFUP pour étancher les dalles fonctionne. En revanche, des fissures ont pu être observées sur les bordures en BFUP du viaduc de Cudrex et du pont à Ropraz, mettant ainsi en doute la fonction du BFUP dans ce type d'application, à savoir protéger le béton armé de tout apport d'eau ou de chlorures.

**Viaduc de Cudrex – Mesures de perméabilité à l'air selon Torrent**



Mesures réalisées sur les bordures en BFUP à proximité de la culée côté sud.

- Sur zones « saines », comme attendu, toutes les mesures effectuées ont donné un indice kT inférieur à  $0.01 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$  (perméabilité très faible).
- Sur zones « fissurées », l'indice kT mesuré ne change que d'un ordre de grandeur (valeurs comprises entre  $0.01 \cdot 10^{-16}$  et  $0.1 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ).

| Appellation de mesure | Indice kT mesuré [ $\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ] | Profondeur de mesure L [mm] | Bordure |
|-----------------------|---|-----------------------------|---------|
| S1                    | 0.007   | Aucune valeur affichée -    | Ouest   |
| S2                    | 0.006   | Aucune valeur affichée -    | Ouest   |
| S3                    | 0.007   | Aucune valeur affichée -    | Ouest   |
| S4                    | 0.005   | Aucune valeur affichée -    | Est     |
| S5*                   | 0.009   | Aucune valeur affichée -    | Est     |

Résultat des mesures sur zones « saines ».

| Appellation de mesure | Indice kT mesuré [ $\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ] | Profondeur de mesure L [mm] | Bordure |
|-----------------------|---|-----------------------------|---------|
| F1*                   | 53.550  | 202.9                       | Ouest   |
| F2                    | 0.072   | 18.1                        | Est     |
| F3                    | 0.039   | 13.3                        | Est     |
| F4                    | 0.012   | Aucune valeur affichée -    | Est     |

Résultat des mesures sur zones « fissurées ».



Microfissures sur les bordures en BFUP du viaduc de Cudrex.



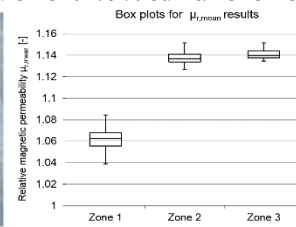
Une fissure parmi d'autres observée sur une des deux bordures en BFUP du pont à Ropraz.

**Mesures sur le pont à Ropraz – méthode électromagnétique**

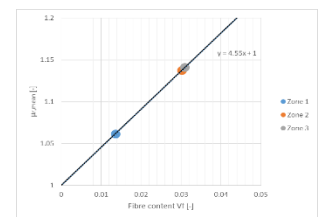
- Cette méthode a été appliquée sur trois zones différentes des bordures en BFUP du pont.
- Il en ressort que le dosage en fibre est plus de deux fois plus petit sur la zone 1 (située sur la bordure côté Lausanne) que sur les zones 2 et 3 (situées sur l'autre bordure). **Le dosage a en effet été estimé à seulement 1.4 % sur la zone 1 et à 3 % sur les zones 2 et 3.**



L'appareillage consiste en une sonde en ferrite reliée à un RLC mètre.



Perméabilités relatives magnétiques moyennées mesurées sur chaque zone.



Estimation du dosage en fibres pour chaque zone de mesure.

**Conclusion**

- Viaduc de Cudrex: Des mesures de perméabilité à l'air selon Torrent réalisées sur les bordures du viaduc de Cudrex ont permis de révéler que même sur les fissures la perméabilité à l'air demeure faible, ce qui indique qu'il ne s'agit que d'une microfissuration de surface qui n'altère pas la fonction de protection du BFUP. Un degré d'entrave élevé associé aux gradients de température de l'été subis après l'assainissement et conduisant à un développement d'autocontraintes important peut expliquer la présence de ces microfissures. Enfin, ce cas permet de mettre en valeur les propriétés mécaniques remarquables du BFUP. En effet, grâce à son comportement écrouissant (qui permet une distribution étendue de la microfissuration sans apparition de macro-fissure localisée), la perméabilité du BFUP demeure faible même en cas d'apparition de microfissures.
- Pont à Ropraz: L'utilisation d'une nouvelle méthode électromagnétique, qui s'est révélée très pratique et efficace, a permis de mettre en évidence un manque de fibres important (dosage estimé à 1.4 % au lieu de 4 %) sur une zone d'une des deux bordures (celle qui était justement affectée par la fissuration). Ce dosage en fibres nettement insuffisant est certainement un des facteurs les plus prépondérants qui puissent expliquer l'apparition des fissures, car les propriétés mécaniques en traction et le développement d'autocontraintes dans le BFUP sont largement influencés par les fibres. Finalement, ce manque de fibres découle d'erreurs d'origine humaine qui auraient pu être évitées et qui ont conduit à ne pas respecter les règles de fabrication, de mise en place et de cure du BFUP.