



Derniers développements en matière d'infrastructures routières en béton

update 3/11

Solutions durables pour la réhabilitation de ponts au moyen de BFUP

Grâce à ses propriétés particulières, le béton fibré à ultra-hautes performances (BFUP) apporte une contribution importante à l'accroissement de la durabilité dans divers ouvrages d'infrastructures. Des exemples d'application en Suisse montrent que ce matériau se prête bien à la réhabilitation de ponts et à la protection de ceux-ci par une couche d'étanchéité.

Solutions durables pour la réhabilitation de ponts au moyen de béton fibré à ultra-hautes performances (BFUP)

Le BFUP – un matériau qui conquiert sa place dans le secteur de la construction. Après des décennies de recherches non seulement en Europe, mais dans le monde entier, le BFUP est maintenant prêt pour diverses applications. De nombreuses études ont mis en valeur ses principales propriétés et ouvert la voie à son optimisation, si bien que l'on peut aujourd'hui passer au stade de la normalisation et du dimensionnement. Comme pour tous les matériaux de construction, les concepteurs et les entreprises de construction ont besoin de directives tenant compte des exigences de la pratique, afin de pouvoir utiliser le BFUP pour leurs ouvrages de manière efficace et créative. Voilà le défi qui se présente aujourd'hui en cette matière.

Sur beaucoup de points, le BFUP se distingue des divers types de béton mis en œuvre usuellement. Il ne s'agit pas seulement de sa résistance mécanique supérieure, mais également de sa durabilité sensiblement meilleure. Les propriétés caractéristiques du BFUP sont sa résistance élevée à la compression, à la flexion et à la traction, ainsi qu'une faible perméabilité; elles reposent sur des développements technologiques réalisés dans trois directions.

Optimisation de la compacité

Les recettes typiques de BFUP utilisent du ciment de haute qualité, combiné avec une certaine quantité de fumée de silice extra pure. La finesse de cette addition étend la granularité du mélange vers le bas, si bien que même les plus petits interstices seront remplis; il en résultera une compacité optimale et une grande homogénéité du squelette granulaire. De plus, en raison de ses propriétés pouzzolaniques, la fumée de silice accroît le développement des résistances et produit un effet positif sur la consistance du BFUP frais.

Réduction du facteur e/c

Bien que la quantité d'eau ajoutée au mélange reste semblable à celle que l'on incorpore au béton usuel, le facteur e/c du BFUP est nettement plus bas en raison du dosage sensiblement plus élevé en ciment: il sera de l'ordre de 0,25. La porosité générale de la pâte de ciment durcie s'en trouvera sensiblement réduite; elle sera caractérisée par des pores de taille très petite en moyenne et faiblement interconnectés. Vu le rapport e/c réduit, certains grains de ciment ne peuvent pas s'hydrater complètement; ils font effet, dans la matrice, de filler de haute qualité. La malaxabilité et la consistance du BFUP sont assurées par l'utilisation de fluidifiants à haute performance, de nouvelle génération. On peut choisir une consistance fluide et autocopactante ou thixotrope, dans le cas d'un bétonnage en pente.

Addition de fibres métalliques ou synthétiques

L'addition de fibres métalliques ou synthétiques améliore la ductilité de la matrice cimentaire, très résistante mais fragile, du BFUP. Le dosage en fibres typique se situe entre 2 et 4 % en volume.



Afin d'accroître la ductilité du BFUP, on ajoute des fibres métalliques ou synthétiques au mélange.



Mise en place de la couche d'étanchéité en BFUP



Finition de la surface du BFUP

Propriétés clés: faible perméabilité et résistances élevées

Les propriétés particulières du BFUP présentent un grand intérêt dans la construction de routes et de ponts. En raison de sa faible perméabilité à l'eau, ce matériau convient particulièrement bien à la protection d'éléments fortement sollicités – tels que tabliers, piles et parapets de ponts – contre l'eau et le gel en présence de sels de déverglaçage [1]. Les essais usuels pour bétons normalisés (p. ex.: SIA 262/1, annexes A à D [2]) permettent de démontrer ces propriétés, ainsi qu'une protection élevée contre la carbonatation et les chlorures. De plus, certains types de BFUP répondent à toutes les exigences posées par la norme EN 1504-3, «Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – réparation structurale ou non structurale». On dispose ainsi d'une base normative pour la détermination des propriétés à obtenir et d'une base de comparaison avec d'autres systèmes.

En appliquant une couche de BFUP de 30–50 mm, qui peut dans certains cas contenir des armatures, il est possible de protéger durablement des éléments en béton armé. Il résulte d'une telle application une section mixte qui est soumise à des exigences particulières [3]. Des contraintes élevées peuvent provenir du fait que le retrait de la couche de BFUP se trouve entravé par le support en béton armé, en principe nettement plus rigide, ce qui risque de conduire à la formation de fissures dans ladite couche. Cependant ces contraintes se trouvent d'une part reprises par la résistance élevée à la traction et d'autre part partiellement réduites

avec le temps par le fluage du BFUP. La résistance à la traction et la capacité de déformation élevées dues à la présence de fibres entravent la formation de macrofissures dans la couche de BFUP et assurent la faible perméabilité de celle-ci, ce qui est essentiel pour qu'elle puisse remplir sa fonction de couche d'étanchéité et de protection [4].

L'application d'une couche de BFUP apporte une série d'avantages supplémentaires. La durabilité élevée de ce matériau assure une longue durée d'utilisation de l'élément ainsi protégé. En sa qualité de matériau minéral, le BFUP présente une excellente compatibilité avec le béton armé et adhère très bien à celui-ci, pour peu que la préparation de ce support ait été correctement exécutée. Il n'est pas nécessaire d'observer des délais d'attente et de séchage comme c'est le cas pour des couches de résine. La couche de BFUP remplissant simultanément plusieurs fonctions, telles que couche de reprofilage, d'étanchéité et, dans certains cas, de roulement, le nombre d'interventions à effectuer s'en trouve réduit, ce qui est économiquement avantageux. La minceur de cette couche de BFUP rend en général plus facile de respecter le niveau de la chaussée donnant accès au pont.

Les deux exemples ci-après illustrent bien les possibilités d'application du BFUP à des ouvrages d'infrastructures, en l'occurrence réalisés en Suisse.

Couche d'étanchéité en BFUP sur un pont

Le pont du Brunnetobel à Rüthi a été construit en béton armé sans couche d'étanchéité, dans

les années soixante. Afin de stopper la corrosion naissante des armatures et d'assurer une prolongation de la durée d'utilisation de l'ouvrage, on a conçu la pose d'une couche de protection et d'étanchéité en BFUP. Celui-ci a été malaxé avec 4,5 % de fibres sur le chantier et appliqué, sous forme d'une couche de 30 mm, sur le support présentant une pente de 5 % et ayant subi une préparation par hydrodémolition. Ce travail a été effectué en deux étapes, de manière que le trafic puisse encore passer sur une voie. Le BFUP remplit, sur cet ouvrage, la double fonction de couche d'étanchéité et de reprofilage. Sept jours après ce travail, on a posé un revêtement bitumineux et, après quelques travaux annexes, rendu pleinement le pont au trafic. Vu la modicité de la couche de BFUP, il n'a pas fallu élever le niveau de la route d'accès, comme cela aurait été nécessaire en cas d'application d'une solution usuelle pour assurer l'étanchéité. Cela a considérablement raccourci la durée d'intervention tout en conférant à l'ouvrage une durée d'utilisation sensiblement prolongée.

Réhabilitation d'un pont historique en béton armé

Le pont qui enjambe la rivière Landquart à Küblis (GR) a été construit dans les années 1920 et présente un grand intérêt historique; il nécessitait toutefois une réhabilitation complète. Le passage de larges véhicules agricoles avait, en partie, causé

d'importants dégâts aux éléments structurels situés au-dessus de la dalle de roulement. La réhabilitation de cet ouvrage a été effectuée en 2008 dans le respect des consignes relatives à la protection des monuments historiques. C'est ainsi que le pont devait notamment conserver au maximum son aspect d'origine. En plus de mesures usuelles de réhabilitation du béton, on a aussi eu recours au BFUP: sur le support préparé par hydrodémolition, on a appliqué une couche d'une épaisseur moyenne de 50 mm de ce matériau, malaxé sur place; il comporte 3 % de fibres d'acier (en volume), ainsi qu'une armature dans le sens longitudinal. Le BFUP remplit, sur cet ouvrage, simultanément plusieurs fonctions importantes:

- Renforcement de la dalle de roulement (flexion, effort tranchant et poinçonnement).
- Protection contre la corrosion et ancrage de l'armature longitudinale de renforcement de la dalle servant de tirant à l'arc.
- Etanchéité et protection de la dalle de roulement, ainsi que des entretoises situées en dessous.
- Revêtement routier. La surface du BFUP a été rendue antidérapante par gravillonnage (pas de tapis bitumineux).

Trois ans d'utilisation du pont après réhabilitation n'ont pas altéré la couche de BFUP, qui est en excellent état. Aucune fissure ni autre dégât ne sont apparus, mise à part une certaine usure du gravillon due au passage des véhicules. En revanche, sur les éléments qui ont été réhabilités selon la méthode usuelle, apparaissent déjà les premiers dégâts, sous



Bétonnage de la couche multifonctionnelle de BFUP (renforcement, étanchéité, revêtement de la dalle de roulement)



Pont sur la Landquart près de Dalvazza, avant et après sa réhabilitation

forme de fissures et d'épaufrures. L'excellente durabilité du BFUP marque un contraste évident avec ces éléments déjà altérés.

Pour réaliser l'objectif général d'accroître la durabilité des constructions d'infrastructures, on peut imaginer plusieurs types d'application du BFUP [5]. En optimisant encore plus la qualité de surface des couches de BFUP, on pourrait recourir plus fréquemment au BFUP, à la fois comme couche d'étanchéité et comme revêtement routier supportant directement le passage du trafic. Des parapets et autres éléments exposés aux agents de déverglaçage pourraient être exécutés entièrement en BFUP, ce qui permettrait d'ailleurs d'en réduire la section. De même, des structures porteuses de pont, soit entièrement en BFUP, soit en BFUP en combinaison avec béton armé, ont déjà été mises à l'épreuve en pratique et se présentent comme des solutions prometteuses.

Bibliographie:

- [1] Brühwiler, E. et Denarié, E.: Rehabilitation of concrete structures using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete, in: Proceedings UHPC-2008: The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, March 05–07, 2008, Kassel, Allemagne.
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 262/1: 2003, Betonbau – Ergänzende Festlegungen, 2003.
- [3] Oesterlee, C., Bewehrter UHFB und Verbundbauweise, in: documents de la Journée d'étude UHFB, 27.10.2011, Fribourg.
- [4] Oesterlee, C., Brühwiler, E., Denarié, E., Tragverhalten von Verbundbauteilen aus bewehrtem UHFB und Stahlbeton, in: Beton- und Stahlbetonbau, Vol 104, Ausgabe 8, p. 462–470, 2009.
- [5] Fleury, B., Oesterlee, K., Wassmann, K., Exemples conceptuels d'utilisation du BFUP, in: documents de la Journée d'étude UHFB, 27.10.2011, Fribourg.

Crédits photos: Dr Cornelius Oesterlee, Holcim (Schweiz) AG

Groupement d'intérêts des routes en béton

cemsuisse

Association suisse de l'industrie
du ciment

Marktgasse 53, 3011 Berne

Téléphone 031 327 97 97

Fax 031 327 97 70

info@cemsuisse.ch

www.cemsuisse.ch

BEVBE

Beratung und Expertisen für

Verkehrsflächen in Beton

Herenholzweg 5, 8906 Bonstetten

Téléphone 044 700 14 02

Fax 044 700 14 03

werner@bevbe.ch

www.bevbe.ch

Grisoni-Zaugg SA

Rue de la Condémine 60

Case postale 2162, 1630 Bulle 2

Téléphone 026 913 12 55

Fax 026 912 74 54

info@grisoni-zaugg.ch

www.grisoni-zaugg.ch

Holcim (Schweiz) AG

Hagenholzstrasse 83, 8050 Zurich

Téléphone 058 850 62 15

Fax 058 850 62 16

betonstrassen@holcim.com

www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA

1312 Eclépens

Téléphone 058 850 91 11

Fax 058 850 92 95

chausseebeton@holcim.com

www.holcim.ch

Implenia Bau AG

Infra Ost Tiefbau

Binzmühlestrasse 11, 8008 Zurich

Téléphone 044 307 90 90

Fax 044 307 93 94

daniel.hardegger@implenia.com

www.implenia-bau.com

Jura-Cement-Fabriken AG

Talstrasse 13, 5103 Wildegg

Telefon 062 887 76 66

Fax 062 887 76 69

info@juracement.ch

www.juracement.ch

Juracime SA Fabrique de ciment

2087 Cornaux

Téléphone 032 758 02 02

Fax 032 758 02 82

info@juracime.ch

www.juracement.ch

Specogna Bau AG

Lindenstrasse 23, 8302 Kloten

Téléphone 044 800 10 60

Fax 044 800 10 80

spc@specogna.ch

www.specogna.ch

Synaxis AG Zürich

(autrefois Wolf, Kropf & Partner AG)

Thurgauerstrasse 56, 8050 Zurich

Téléphone 044 316 67 86

Fax 044 316 67 99

c.bianchi@synaxis.ch

www.synaxis.ch

Toggenburger AG

Schlossackerstrasse 20

8404 Winterthur

Téléphone 052 244 13 03

Fax 052 244 12 24

info@toggenburger.ch

www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA

Zone industrielle Rondchâtel

2603 Péry

Telefon: 032 485 03 00

Fax: 032 485 03 32

info@vigier-ciment.ch

www.vigier-ciment.ch

Walo Bertschinger AG

Case postale 7534, 8023 Zürich

Téléphone 044 745 23 11

Fax 044 745 23 65

kurt.glanzmann@walo.ch

www.walo.ch

BETONSUISSE

BETONSUISSE Marketing AG

Marktgasse 53, CH-3011 Bern

Téléphone +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70

info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

bdz.
Deutsche Zementindustrie

BDZ, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.

Kochstraße 6-7, D-10969 Berlin

Téléphone +49 (0)30 2800 2-100, Fax +49 (0)30 2800 2-250

BDZ@BDZement.de, www.BDZement.de

beton

Gruppe Betonmarketing Österreich

Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton Handels-
und Werbeges.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien

Téléphone +43 (0) 1 714 66 85-0, www.zement.at