

16 juin 2015 à Villeneuve / Veytaux - Suisse Le viaduc de Chillon



La délégation AFGC Rhône Alpes, en relation étroite avec L'Office Fédérale des ROUTES suisses (OFROU), et les entreprises Walo Bertschinger et Lafarge, a organisé le 16 juin 2015 en Suisse, une journée consacrée au renforcement innovant en BFUP des viaducs de Chillon en Suisse.

Rappel du programme

9h30 : Accueil café

10h00 : Accueil des participants et présentation de la journée
Jacques Martin, EGIS / Président de la délégation AFGC Rhône-Alpes

10h10 : Présentation du contexte général de la réhabilitation des viaducs - Solution innovante en relation avec la RAG
Stéphane Cuennet et Philippe Schaer - Office Fédéral des Routes (OFROU)

10h30 : Présentation des diverses variantes et des études préalables

Eugen Brühwiler - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

11h10 : Présentation spécificités de ce chantier et les réponses apportées en termes de Méthodes

Entreprise Walo Bertschinger

11h50 : La réponse Ductal® pour ce chantier et les diverses applications possibles en renforcement et réparations d'ouvrage

Damien Jacomo, Sébastien Bernardi - Lafarge

12h30 : Questions / Réponses

13h00 : Déjeuner sur place

14h30 : Visite du chantier

Présentation de la journée

Les viaducs jumelés de Chillon, sur la rive Nord du lac Léman (Montreux), assurent la liaison entre Lausanne et Martigny, par l'autoroute N 9.

Accrochés en flanc de montagne, sur 2,2 km, ils surplombent le célèbre château de Chillon dans un site exceptionnel, non loin du vignoble en terrasses de Vevey classé au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Ils ont été construits entre 1966 et 1969 (50 ans !), par encorbellements successifs avec des voussoirs préfabriqués de 12 m de large, posés au moyen d'une poutre de lancement.

En 2010, à l'occasion de travaux de gros entretiens sur les barrières de sécurité, il a été décelé notamment des phénomènes de Réactions Alkali-Granulats (RAG) sur les bétons de ces viaducs. Après examen approfondi, un collège d'experts a recommandé des mesures de renforcement rapides pour une remise en état durable en bénéficiant d'un support encore sain.

L'objectif principal a été d'adoucir les effets néfastes de la RAG et de maintenir des conditions favorables pour un faible développement. Il s'agissait de renforcer et d'étancher la dalle de roulement afin de supprimer toute possibilité d'apport d'eau, de diminuer l'amplitude des contraintes dues aux effets du trafic routier, d'augmenter la résistance ultime à la flexion, à l'effort tranchant et à la fatigue ainsi que de limiter les déformations du tablier dans le sens longitudinal. Ce renforcement permettra également de mettre à niveau les ouvrages vis-à-vis des nouvelles normes sismiques.

Après analyses de plusieurs variantes, la mesure de renforcement au moyen d'un Béton Fibré Ultra-Performant (BFUP) répondant à ces objectifs a été décidée par l'Office Fédéral des ROUTES suisses (OFROU) et a fait l'objet d'études et d'essais par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

Ce renforcement consiste en la pose de façon "industrielle" d'une couche de 45 mm de BFUP armé sur l'ensemble du tablier totalisant une surface de plus de 50'000 m².

Les travaux ont été réalisés par l'entreprise Walo Bertschinger avec un BFUP de type DUCTAL de Lafarge ; les renforcements ont démarré en 2014 sur le premier viaduc côté lac et le second tablier est en cours de traitement (Bureau d'Etudes : MONOD-PIGUET + ASSOCIES Ingénieurs Conseils S.A)

• Les conséquences d'une défaillance de la structure porteuse suite à des effets d'un endommagement avancé de la RAG pourraient être importantes et disproportionnées par rapport à l'investissement d'un renforcement

- Nécessité d'une réhabilitation de l'ouvrage à court terme afin de bénéficier d'un support encore relativement sain

5. Objectifs de l'intervention

Selon Prof. Dr. E. Brühwiler :

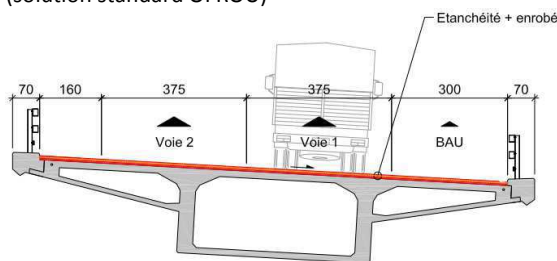
L'objectif est d'adoucir les effets néfastes et de maintenir des conditions favorables pour un faible développement de la RAG.

Le but est de renforcer la dalle de roulement afin de :

- Supprimer toute possibilité d'apport d'eau dans le béton
- Diminuer l'amplitude des contraintes par une augmentation de la rigidité de la dalle ;
- Augmenter la résistance ultime ;
- Limiter les flèches du tablier dans le sens longitudinal.

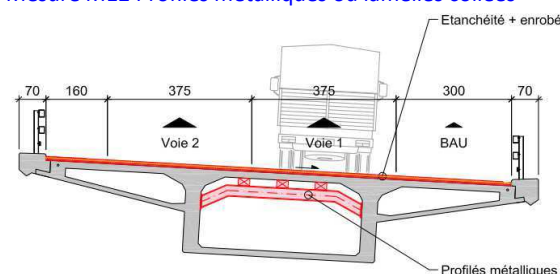
6. Variantes de mesures de réhabilitation

Mesure M11 Réhabilitation selon projet d'intervention
(solution standard OFROU)



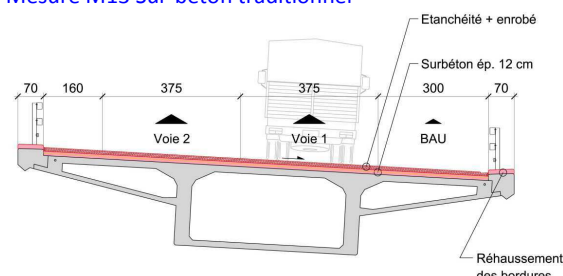
Problème : seulement fonction d'étanchéité

Mesure M12 Profilés métalliques ou lamelles collées



Problème : consoles non renforcées !!!

Mesure M13 Sur-béton traditionnel



Problème : Importante augmentation du poids propre

Mesure M14 Renforcement au moyen d'un BFUP

BFUP armé (direction transversale): ép. 40 mm

BFUP armé (2 sens): zone des piles:

Ép. 50 mm (renforcement longitudinal)

Les manifestations régionales

7. Solution proposée

Les bénéfices suivants sont attendus :

- Etanchéité : la couche de BFUP est imperméable à l'eau et aux chlorures (Attention: partiellement étanche au droit des joints de travail – étanchement nécessaire) ;
- Comportement structural de la dalle : augmentation de la rigidité de la dalle, diminution significative des contraintes ;
- Comportement structural global : la couche en BFUP contribue à rigidifier le tablier et à réduire ses déformations ;
- Résistance ultime : augmentation très importante de la résistance ultime (flexion, effort tranchant, fatigue) ;
- Intervention limitée : renforcement sens longitudinal évité ;
- Exécution : potentiel d'un chantier d'une durée relativement courte ;
- Moment opportun : béton du support encore sain

8. Développement de la solution BFUP

Organisation spécifique :

- Groupe de travail «RAG»
- Groupe de travail «BFUP» (taskforce)
→ développement du projet en collaboration MO/APR/ENT+EXP

Suivi actif de l'avancement du projet :

- Séances de travail régulières
- Objectifs (jalons)

Développement de la solution BFUP

- Validation du renforcement par des essais de rupture selon rapport d'essai du Prof. Eugen Brühwiler ;
- Vérification par calculs à l'ELU et l'ELS du tablier selon les rapports de GVH et MPAIC-BG ;
- Validation des détails constructifs tels que joints de travail et vérification de l'étanchéité des joints par essais ;
- Confirmation de la part de Walo Bertschinger de la fourniture et du mode de coulage du BFUP ;
- Simulations numériques de l'état des contraintes dans la couche BFUP (voir Memorandum du Prof. Eugen Brühwiler) ;
- Essais des propriétés mécaniques du BFUP ;
- Confirmation des couches à poser sur le BFUP selon expertise par le LAVOC (Prof. A.-G. Dumont) ;
- Etablissement d'un plan de contrôle comportant des essais de convenance et de qualité sur BFUP ;
- Contrôle du succès de la première application en 2004 d'une couche de BFUP sur la dalle de roulement d'un pont par une inspection détaillée et des essais in-situ et en laboratoire ;
- Respect des aspects normatifs et de l'application des règles de l'art conformément au Cahier Technique SIA 2052.
- Essais de mise en place du BFUP de manière industrielle (Développement de la machine) par Walo

9. Conclusions

- Important changement en cours de réalisation nécessitant un retour en phase de projet.
- Intense collaboration d'équipe : (MO + BAMO – auteur du projet – expert(s) – entreprise – direction des travaux).

- Délais très courts pour développer une solution innovante encore jamais mise en application pour un ouvrage de cette envergure (1ère mondiale).

Présentation des diverses variantes et des études préalables

Eugen Brühwiler - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Renforcement des Viaducs de Chillon

Fonctions du BFUP armé:

- renforcer la dalle de roulement dans le sens transversal: flexion, effort tranchant, fatigue
- augmenter la rigidité et la résistance du tablier (sens longitudinal)
- étancher la dalle
- ne pas augmenter les charges perm.
- courte durée d'intervention

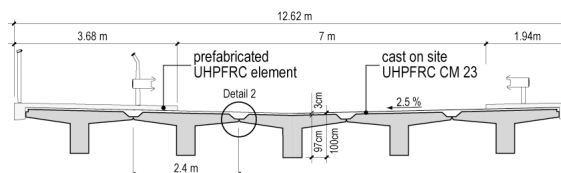


Pourquoi la dalle de roulement des Viaducs de Chillon n'a-telle pas déjà été renforcée au moyen du BFUP lors de la construction en 1969 ?

... et aujourd'hui, pourquoi les éléments en béton fortement exposés ne sont-ils pas renforcés au moyen du BFUP lors de leur construction ?



Les manifestations régionales



Conclusions

- Réalisation du concept d'un renforcement ciblé d'ouvrages en béton armé au moyen du BFUP armé.
- Combinaison efficace des fonctions de protection et de portance afin de prolonger la durée d'utilisation
- Simplification du processus d'intervention, réduction de la durée du chantier, économique
- Concept et technologie ont fait leur preuve par de nombreuses applications.

La réponse Ductal® pour ce chantier et les diverses applications possibles en renforcement et réparations d'ouvrage

Damien Jacomo, Sébastien Bernardi - Lafarge

- Une formulation adaptée répondant aux contraintes du projet
 - Performances mécaniques (classe UA, cf cahier technique SIA) ;
 - Durabilité ;
 - Pente (jusqu'à 7%).
- Une production et une logistique sur mesure :
 - Atelier dédié : contrôle et traçabilité ;
 - Livraison en vrac (citernes) 7 cadences, propreté, coût matériau... ;
 - Suivi logistique constant.
- Un engagement qualité
- Un suivi et un soutien technique constant
 - Pré-convenance ;
 - Convenances ;
 - Assistance technique sur site ;
 - Etc.