

## Rapport technique / domaine du bâtiment et génie-civil

### Contenu : **Traitement minéral pour le béton armé**

Rédaction : Mariéthoz Benoît / étudiant ETC 3ème / rue de l'île 12 / 3979 Grône

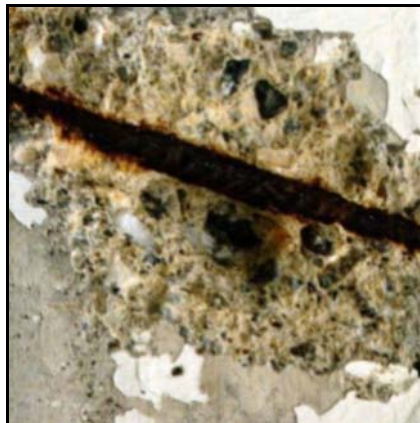
Date : 24 février 2010

## MFP- Traitement minéral pour le béton armé

On a longtemps considéré le béton armé comme un matériau idéal dans lequel l'acier était définitivement protégé de la corrosion. Or, on dépense des milliards dans le monde pour réparer ces ouvrages dont la corrosion abîme les armatures. Cette corrosion est provoquée par la carbonatation du béton et/ou la pénétration de chlorures provenant des sels de déverglaçage.

Ces phénomènes sont fortement aggravés par la présence de fissures, d'une cure insuffisante du béton, de l'effet du gel, d'autres contaminants comme les sulfates, ainsi que par les recouvrements d'armature trop minces.

Le monofluorophosphate (MFP) est un traitement minéral qui agit à la fois sur la pâte de ciment et sur la surface des aciers. Le MFP a fait l'objet depuis 20 ans de nombreux travaux de recherches internationaux qui ont pu démontrer ses propriétés.



### Problématique

Pour réparer des structures en béton armé montrant des éclatements dus à la corrosion, il est habituel de dégager les armatures sur une épaisseur d'environ 10 cm. La surface est ensuite reconstituée par un mortier spécial ou un béton projeté.

Cette méthode est toutefois coûteuse, très intrusive, et les réparations montrent le plus souvent une importante fissuration après quelques mois, par suite des tensions générées par les retraits du mortier de réparation. Ces fissures peuvent permettre une recontamination rapide du béton par les sels de déverglaçage. Enfin, la contamination des zones avoisinant les réparations peut être suffisante pour permettre la poursuite des phénomènes de corrosion des armatures.

## Alternative

Une alternative intéressante consiste à enlever que le béton éclaté ou délaminé puis de traiter ensuite l'ensemble des surfaces avec un produit à base de monofluorophosphate (MFP). Se qui permettra à la fois de réduire le risque de corrosion des aciers, de renforcer la peau du béton, et de réduire le risque de fissuration des revêtements. Puis il suffira de reconstituer les zones dégagées et d'appliquer un mortier mince étanche qui empêchera la poursuite de la contamination par les chlorures.

## Utilisation

Il est possible d'appliquer le MFP de 2 façons. On peut soit le vaporiser à l'aide d'une pompe ou d'un atomiseur directement sur la surface à traiter. Pour se faire on procédera de la façon suivante :

- Préparation de la solution selon le nombre de m2 à traiter
- Nettoyage du support (peinture etc)
- Appliquer le produit en couches successives jusqu'à l'utilisation complète du produit
- Après une semaine nettoyage du support pour enlever les résidus du produit en surface

Pour la deuxième méthode, le MFP est appliqué sous forme d'un gel spécialement formulé et breveté permettant une pénétration importante, pouvant dépasser 50mm.

Malgré une apparente simplicité, l'application du MFP nécessite un savoir faire important pour assurer la pénétration des produits jusqu'aux armatures. Cela n'est possible que par le biais d'entreprises spécialisées qui bénéficient en outre d'une assistance technique continue, leur permettant d'agir en amont, à l'étape du diagnostic des ouvrages, étape essentielle pour un assainissement durable.



## Entreprises licenciées en Suisse

- Implenia Construction SA, Genève.
- Bertolit SA , Genève
- Biollay SA, Lonay, VD.
- Chételat SA, Courroux, JU.
- Comina Peintures SA, St Aubin, NE.
- Locher AG, Zurich
- Rénobéton SA, Fribourg.
- Tecnap Sarl, Fully, VS

## Avantage du MFP

Du fait de la nature des éléments chimiques présents dans sa formulation, l'effet du MFP va bien au-delà de l'inhibition de la corrosion: il réagit avec le béton de peau pour le renforcer, et augmenter sa résistance à l'écaillage provoqué par les cycles de gel et dégel.

De plus, le MFP agissant comme retardateur de prise, les mortiers appliqués sur une surface traitée au MFP ont un risque de fissuration très diminué car les tensions générées par les retraits ont le temps de se dissiper avant la prise complète.

Enfin, le béton traité au MFP reste propre: les salissures organiques ne réapparaissent pas.

## Exemple d'utilisation : le Pont de Peney sur le Rhône, à Genève.

Le pont de Peney franchit le Rhône en aval de Genève. Il s'agit d'un pont bipoutre continu d'une longueur de 175m. Construit en 1942, l'ouvrage est en béton vibré, armé de barres d'acier doux lisses Fig. 1 et 2).

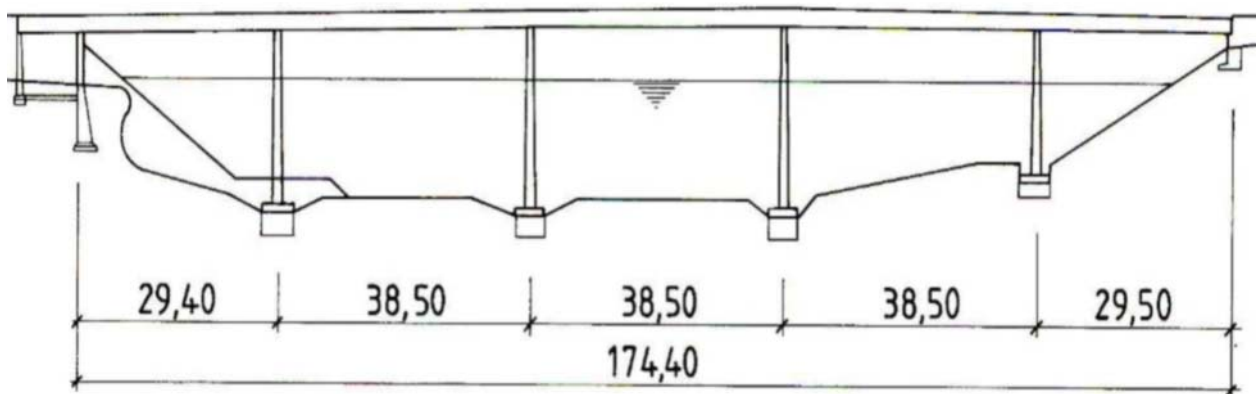


Fig.1 – Pont de Peney, élévation.

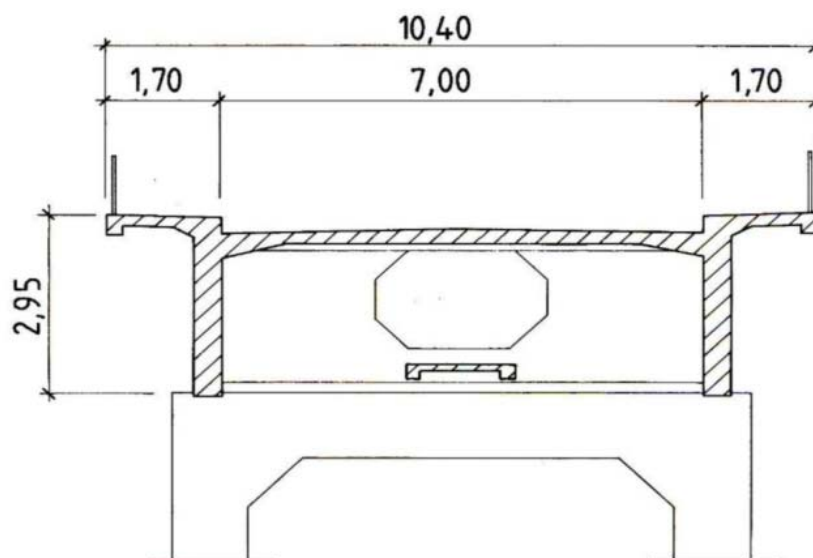


Fig.2 – Pont de Peney, coupe.

## 1. Etat initial

En 1983, le Département des travaux publics du canton de Genève (DTPE) mandate un laboratoire qui relève d'importantes dégradations, à savoir une fissuration d'origine statique (fissures traversantes d'ouverture jusqu'à 1mm), un état caverneux en de nombreuses zones, des éclats dus à la corrosion des armatures provoquée par la carbonatation du béton et l'infiltration de chlorures provenant des sels de déverglaçage. Il faut ajouter une importante contamination générale en chlorures et sulfates provenant de la présence proche d'une usine d'incinération des ordures ménagères (Fig. 3).

Le mandataire a pu mettre en évidence que sur les faces latérales des sommiers, 55 à 100% des aciers n'étaient plus protégés de la corrosion. Comme méthode de réfection, le laboratoire a alors préconisé le repiquage sur les poutres maitresses de la totalité du béton carbonaté ou contaminé par les chlorures et l'application d'un béton projeté assurant un enrobage des aciers d'au moins 20mm.



Fig.3 – Pont de Peney, défauts.



Fig.3 – Pont de Peney, défauts.

## 2. Evaluation de la sécurité structurale par l'ingénieur civil.

L'évaluation selon les normes en vigueur fut réalisée à la demande du DTPE en 1991. Il en ressort que malgré l'augmentation des charges depuis l'époque de la construction, la sécurité globale de l'ouvrage est assurée et qu'un renforcement n'est pas nécessaire.

### 3. Contre-indications à une démolition du béton en place.

Tout d'abord, lorsque le béton en place offre une bonne résistance, le dégrappage des surfaces s'avère très « énergivore » tandis qu'il est difficile de garantir que le matériau rapporté présentera une résistance et une adhérence au moins égales à celles du matériau enlevé.

Ensuite, dans certaines zones de transfert de contrainte entre l'armature et le béton, un dégrappage du béton superficiel serait dangereux : près des barres relevées proches du parement, dans la zone d'ancrage des armatures sur appuis des poutres maîtresses, sous les charges de roues, enfin, il y a un risque de poinçonnement du tablier. Il faut encore mentionner les contraintes et vibrations que l'ouvrage continuera de subir pendant la prise des mortiers ou des bétons de ragréage, le pont devant rester en service durant les travaux de réfection.

### 4. Variante d'exécution avec recours à l'imprégnation de monofluorophosphate.

En 1993, le DTPE lance un appel d'offres pour la réfection du pont selon la méthode traditionnelle de dégrappage de l'ensemble des surfaces du béton et le ragréage par béton projeté. Les entreprises Perret SA et Locher & Cie SA proposent une variante consistant en une réfection ponctuelle des seules zones éclatées, la protection contre la corrosion étant assurée par une imprégnation générale de monofluorophosphate de sodium. Se révélant non seulement la moins coûteuse (-25%), mais permettant également d'éviter certains problèmes posés par la méthode traditionnelle, cette solution est adoptée.

### 5. Stratégie de réfection retenue.

La figure 4 montre le principe de réfection finalement exécuté. L'application de MFP permet à la fois de réduire le risque de corrosion des armatures et de renforcer le béton de peau.

Les réparations locales ont tout d'abord été exécutées par hydrodémolition à 2000 bars. Face aux difficultés rencontrées pour l'exécution satisfaisante des très nombreux taconnages, l'ingénieur a décidé de modifier la méthode de la façon suivante : le béton n'est que légèrement décapé (pression de la lance hydraulique ramenée à 400 bars), ce qui débarrasse des fragments non adhérents.

Par contre, même si la barre présente une corrosion superficielle, elle n'est pas dégagée lorsque le béton est sain. Les seules zones subissant le traitement haute pression sont les nids de gravier importants. Après l'imprégnation de MFP, les zones éclatées sont réparées au moyen d'un mortier spécial et les surfaces extérieures des sommiers sont lissées avec un enduit bouche-pores à base de ciment.

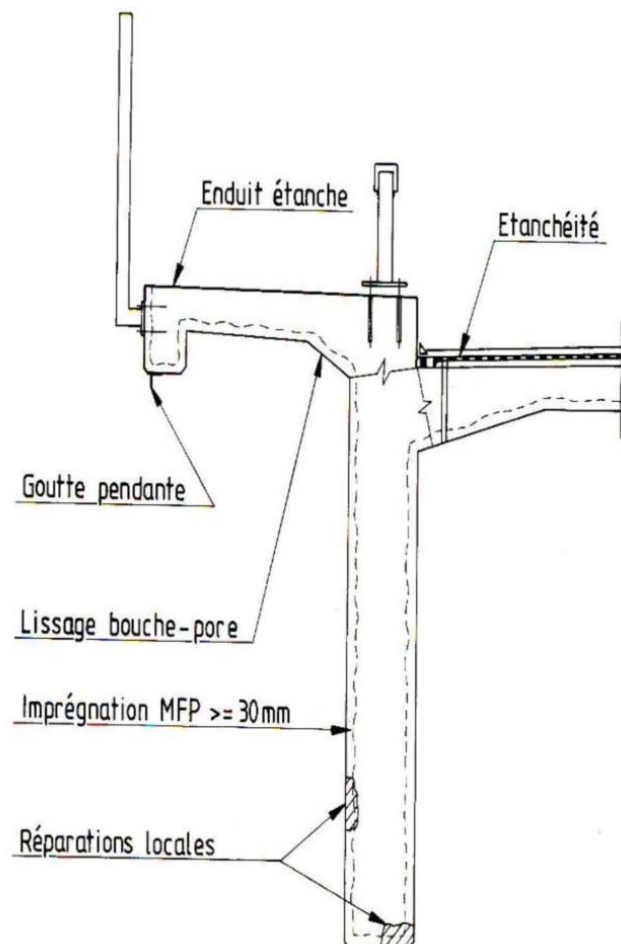


Fig.4 – Pont de Peney : principe de réfection.

## 6. Comportement de l'ouvrage après 15 ans.

Au début de 2009, le DTPE a mandaté un bureau d'ingénieurs pour vérifier le comportement des réparations réalisées en 1994, ainsi que la teneur en MFP toujours présente dans le béton. Les conclusions sont les suivantes :

Tous les taconnages sont intacts et ne présentent aucune fissure en leur centre ou leur pourtour. Le bouche pore cimentaire sur l'extérieur des sommiers ne présente aucune microfissuration ou faïençage, y compris sur les zones qui comportaient des aciers affleurants (Fig. 5). Quelques fissures de charge sont constatées.



Fig.5 – Pont de Peney : vue d'un sommier avant les travaux en 1993 (en haut), et en 2009, 15 ans après les travaux (en bas).

L'analyse de la teneur en MFP réalisée sur une zone test sur laquelle des contrôles avaient déjà été effectués en 1997 et 2004, ne montre pas de changement significatif dans le profil de concentration en fonction de la profondeur. En effet, au-delà des réactions d'hydrolyse initiales, le MFP est chimiquement stable dans le milieu du béton (Fig.6).

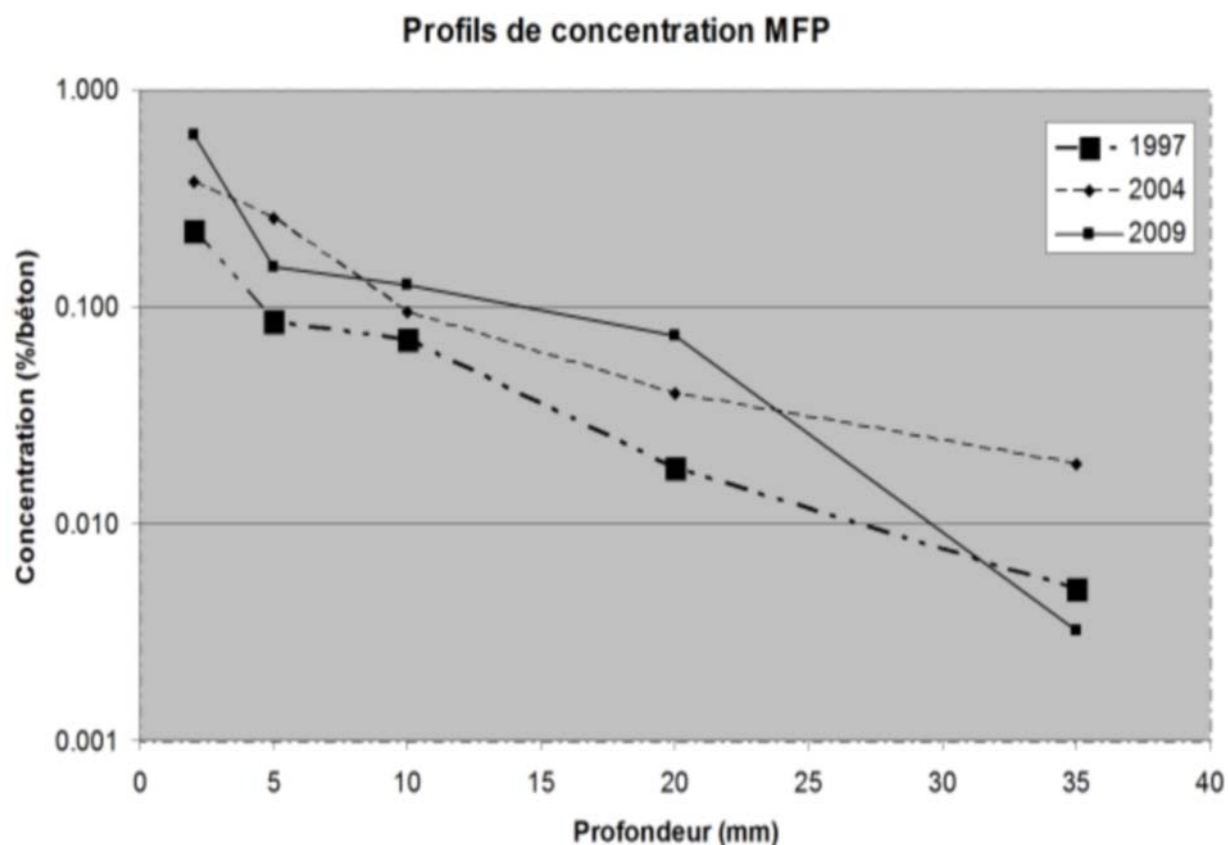


Fig.6 – Pont de Peney : concentration en monofluorophosphate dans le béton observées sur une même zone au cours du temps.

## Conclusions

Nous reprenons les conclusions de l'ingénieur civil responsable des travaux au Pont de Peney :

« En présence d'un ouvrage dont la sécurité structurale est assurée, l'opinion de l'ingénieur est que la méthode traditionnelle de dégrappage de l'ensemble des surfaces et ragréage au béton projeté présente un risque d'affaiblissement de la structure et devrait être réservée à des ouvrages constitués d'un béton peu résistant ou dont l'armature est sous-dimensionnée ou très altérée. L'imprégnation de MFP permet de ne pas perturber le fonctionnement statique d'un ouvrage, tout en traitant des armatures qu'il est tout simplement impossible de dégager pour des raisons de sécurité. »

Pour pouvoir utiliser une telle méthode, il faut cependant que le MFP puisse atteindre les armatures et que la contamination en chlorures soit inférieure à 2% en poids de ciment, ce qui nécessite donc un bon diagnostic préalable, ainsi que des essais in-situ. Des exemples de structures adaptées à ce traitement sont par exemple les façades et parapets de balcon et de façon générale toutes les structures souffrant de carbonatation du béton, ainsi que les zones d'ouvrages d'art avec un recouvrement mince (parapets, plafonds).

---

**Référence :**

- MFP SA, Dr B. MALRIC, Rue de Rive 4, 1204 Genève.
- DUPRAT, M, LAFONT, M. C., MORAN, F. and ROCHER, S., "Inhibition de la corrosion d'un acier au carbone en milieux neutres aérés par les monofluorophosphates", Revue Française des Sciences de l'Eau, V. 4, 1985, pp. 1-15
- ALONSO, C., ANDRADE, C., ARGIZ, C. and MALRIC, B., "Na<sub>2</sub>PO<sub>3</sub>F as Inhibitor of Corroding Reinforcement in Carbonated Concrete", Cement and Concrete Research, V. 26, No 3, 1996, pp. 405-415.
- M. BACH, Inhibition de la corrosion des armatures métalliques dans les maçonneries anciennes. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2002.
- T. CHAUSSADENT, V. NOBEL-PUJOL, F. FARCAS, I. MABILLE, et C. FIAUD, « Effectiveness conditions of sodium monofluorophosphate as a corrosion inhibitor for concrete reinforcements. Cement and Concrete Research, 2005.
- F. SAUCIER, M. PIGEON. Additional tests on the effect of the MFP treatment on the freeze/thaw scaling resistance of cement concrete. Effect of 5 applications on 8 different concrete types. SEM report N°93080b, 1994.