

Assainissement du pont de Peney (Genève)

Autor(en): **Malric, Bernard / Annen, Philippe**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **121 (1995)**

Heft 20

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78624>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Assainissement du pont de Peney (Genève)

Par Bernard Malric,
Entreprise
Locher & Cie SA,
71, av. Louis-Casati,
1216 Cointrin
et Philippe Annen,
Ingénieurs associés
M. Buffo + M.
Châtelain,
rue Lamartine 23,
1203 Genève

1. Description de l'ouvrage

Le pont de Peney relie Aire-la-Ville à Peney en franchissant le Rhône.

Il s'agit d'un pont bipoutre continu, d'une longueur totale de 175,00 m. Construit en 1942, l'ouvrage est en béton vibré, armé de barres d'acier doux lisses (fig. 1 et 2).

2. Etat constaté avant les travaux de réfection

En 1983, le Département des travaux publics et de l'énergie (DTPE) du canton de Genève, maître de l'ouvrage, mandate un laboratoire de contrôle, qui relève d'importantes dégradations, à savoir une fissuration d'origine statique (fissures traversantes d'ouverture jusqu'à 1 mm), un état caverneux en de nombreuses zones, des éclats dus à la carbonatation du béton superficiel ayant entraîné la corrosion des aciers, ainsi que des dégâts dus aux infiltrations de chlorures (sels de déverglaçage) (fig. 3, 4 et 5).

Ayant réalisé une statistique du pourcentage des aciers en contact avec la zone carbonatée, le mandataire a notamment mis en évidence que sur les faces latérales des sommiers, 55 à 100% des armatures n'étaient plus protégées.

Comme méthode de réfection, le laboratoire a alors préconisé le repiquage sur les poutres maîtresses de la totalité du béton superficiel carbonaté ou contaminé par les chlorures et l'application d'un béton projeté assurant un enrobage des aciers d'au moins 20 mm.

3. Evaluation de la sécurité structurale par l'ingénieur civil

L'évaluation selon les normes en vigueur – SIA 160 (1989) et 162 (1989) – fut réalisée à la demande du DTPE en 1991. Il en ressort que, malgré une grande augmentation des charges depuis l'époque de la construction, la sécurité globale de l'ouvrage est assurée, et qu'un renforcement est inutile.

Il faut ici relever les points suivants.

a) Résistance élevée du béton

Divers tests ont été réalisés, soit sur des éprouvettes carottées, soit au scléromètre (un certain nombre d'essais étant effectués après meulage du béton superficiel).

La résistance mesurée n'a jamais été inférieure à $f_{cw} = 32 \text{ N/mm}^2$, tandis qu'une éprouvette carotée atteignait 81 N/mm^2 .

Par la suite, la dureté du béton sera confirmée du fait des difficultés du traitement à l'eau sous haute pression (jusqu'à 2000 bars).

b) Aciers d'armature tolérants

Il s'agit de barres d'acier doux lisses, constituées d'acier ordinaire pour les diamètres jusqu'à 30 mm, tandis qu'un acier amélioré au chrome a été choisi pour les gros diamètres de 44 et 50 mm.

Etant donné les faibles contraintes admissibles et la grande ductilité de ce type d'acier (tolérance vis-à-vis des défauts de surface), le risque de fatigue est inexistant, malgré l'amplitude des variations de contraintes subies par l'ouvrage (de portées relativement courtes, soit 38,50 m au maximum, ce pont assume en effet un intense trafic poids lourds).

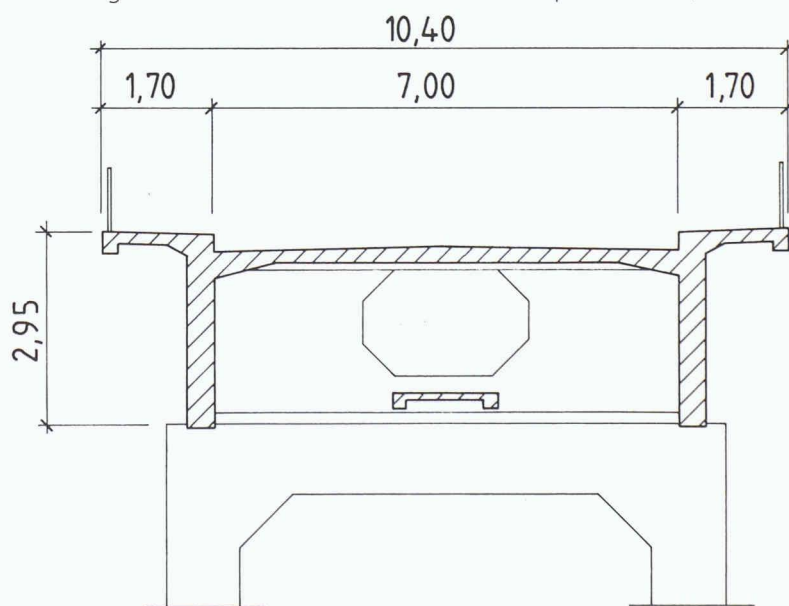


Fig. 2. - Coupe

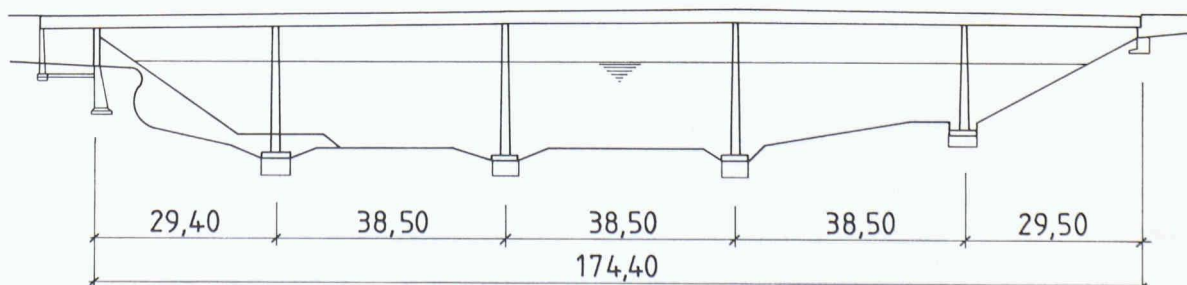


Fig. 1. - Élévation



Fig. 3. – Eclats de béton sur étriers affleurants



Fig. 4. – Piqûres de corrosion sur barres de gros diamètre

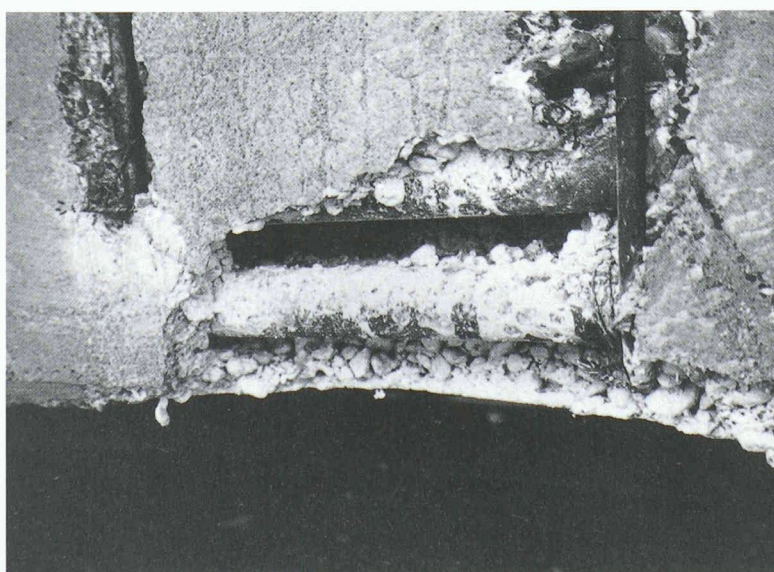


Fig. 5. – Nid de gravier

Maître de l'ouvrage: Département des travaux publics et de l'énergie de la République et Canton de Genève - Direction du génie civil

c) Défaut de conception de l'armature

La concentration de l'armature au droit des âmes et dans le talon des poutres a, d'une part, entraîné la fissuration de l'âme au-dessus du tirant inférieur et celle du tablier dans les zones de moments négatifs; d'autre part, elle a empêché le bétonnage correct du talon des poutres, d'où la présence assez systématique de nids de gravier ou de vides.

4. Variante d'entreprise avec recours à l'imprégnation MFP¹

En 1993, le DTPE lance un appel d'offres pour une réfection du pont selon la méthode traditionnelle de dégrappage de l'ensemble des surfaces du béton et le ragréage par béton projeté, suivant ainsi la recommandation du laboratoire de contrôle.

La variante proposée par les entreprises de construction Perret S.A. et Locher & Cie S.A. consiste en une réfection ponctuelle des seules zones très dégradées (taconnage), la protection contre la corrosion étant réalisée par le procédé MFP. Se révélant non seulement la moins coûteuse (-25%), mais permettant également d'éviter certains problèmes posés par la méthode traditionnelle (fig. 6), cette solution a été acceptée par le DTPE et le bureau d'ingénieur.

5. Description de la méthode

L'application de MFP est une approche nouvelle de l'assainissement du béton armé: elle consiste à remplacer la démolition d'un béton encore sain mais carbonaté ou contaminé par des chlorures, par une imprégnation profonde de MFP pour passiver les armatures (soit les rendre plus résistantes à la corrosion due à la carbonatation

¹Monofluorophosphate de sodium

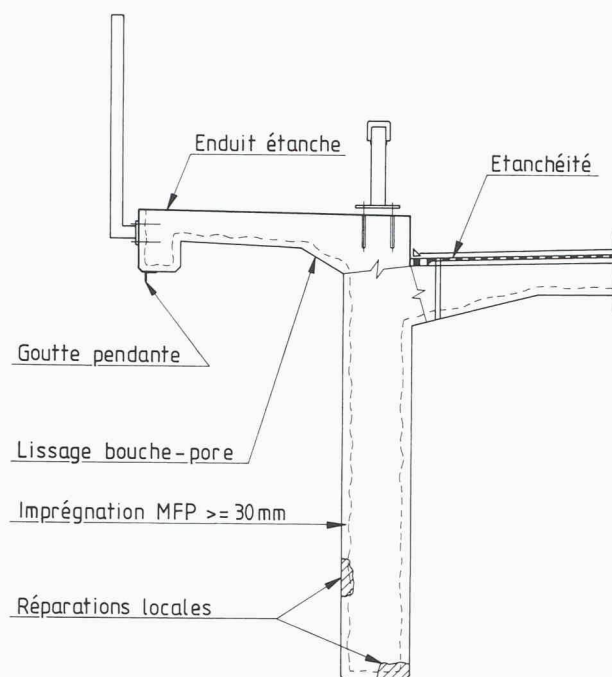


Fig. 6. – Principe de réfection

ou aux chlorures), et pour consolider la zone superficielle du béton.

L'action du MFP sur le béton armé est double: faisant office d'inhibiteur de corrosion sur les barres d'armature, il réagit aussi avec le béton lui-même pour le renforcer.

Mis en contact avec l'armature, le MFP ne forme pas de film autour de l'acier, mais renforce plutôt la couche d'oxydes naturels déjà présente. Cette action a pour effet de rendre les armatures résistantes à un niveau de chlorures supérieur aux 0,4% normalement admis (la quantité tolérée dépendra de la quantité de MFP présent au niveau de l'acier: lors d'essais en laboratoire on a pu arrêter la corrosion générée par 2,5 à 3% de chlorures), ainsi qu'au pH du béton carbonaté (pH 8 à 9).

Dans la zone fortement imprégnée (environ 1 cm), le MFP réagit avec la chaux du béton pour former des apatites, qui sont des produits proches de l'émail dentaire, caractérisés par leur résistance et leur stabilité chimique. Cette seconde réaction aboutit en fait à une consolidation de la zone de surface du béton et à une modification de la microstructure qui augmente la résistance au gel.

Se déroulant à l'intérieur du béton, les processus décrits ne modifient pas l'apparence extérieure de l'ouvrage et le traitement consiste en imprégnations multiples par pulvérisation d'une solution aqueuse de MFP.

6. Porosité du béton

La condition essentielle de succès réside dans le degré de porosité du béton. Celui-ci doit présenter une porosité ouverte et un réseau de capillaires communicants; il est donc indispensable de procéder à des carottages préalables, afin de tester sa capacité d'absorption d'une solution de MFP.

Pour le pont de Peney, les essais de capacité d'absorption capillaire ont été réalisés au laboratoire TFB², démontrant que la porosité du béton concerné, bien que très variable, était suffisante pour envisager l'utilisation du traitement MFP (fig. 7).

²Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie

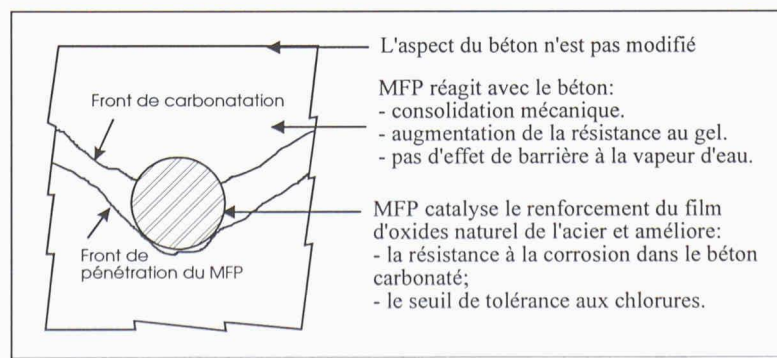


Fig. 7. – Action du MFP

7. 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 (béton projeté) présentera une résistance et une adhérence au moins égales à celles du matériau enlevé. De fait, les difficultés rencontrées avec les mortiers utilisés à Peney pour des réparations ponctuelles prouvent bien la réalité de ces problèmes.

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 (fig. 8);
- dans la zone d'ancrage des armatures sur appuis des poutres maîtresses (fig. 9). Dans cette zone, il y a en effet transfert de gros efforts des armatures au béton, et bien qu'il s'agisse de béton contaminé par les chlorures, il est impossible de dégager les barres;
- sous les charges de roues, enfin, il y a un risque de poinçonnement du tablier (fig. 10).

Pour terminer, il faut encore mentionner les contraintes et vibrations que l'ouvrage continuerait de subir durant la prise des mortiers ou des bétons de ragréage (fig. 11), puisque le pont doit rester en service durant les travaux de réfection.

8. Comportement physique

L'approche traditionnelle consiste à appliquer une barrière semi-étanche freinant la pénétration d'agents corrosifs à l'intérieur du béton.

Ce faisant, on court le risque de voir s'accumuler dans le béton des quantités d'eau qui ne peuvent plus s'évaporer, et de créer ainsi des zones humides déclen-

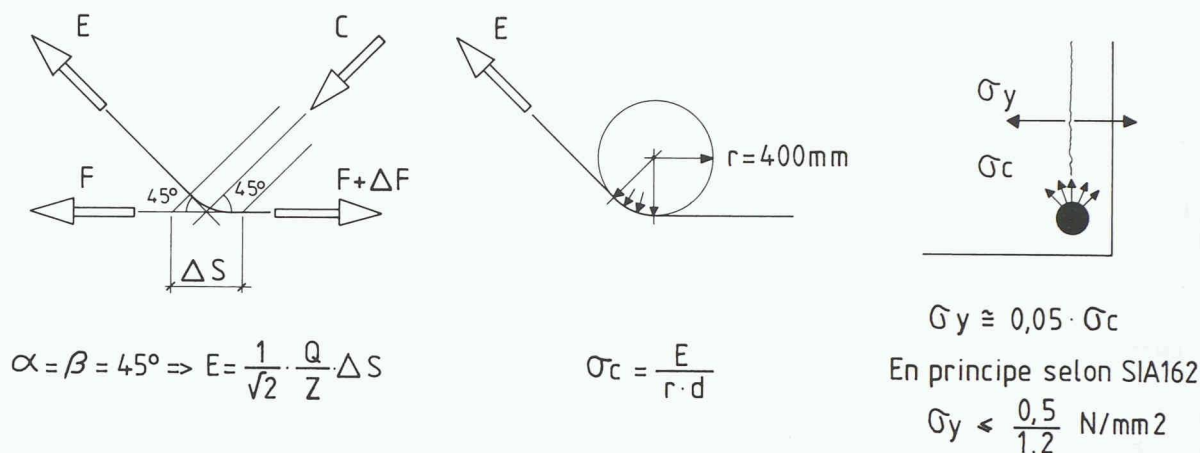


Fig. 8. – Barres relevées

chant la corrosion là où il n'y avait pas de problème.

En revanche, l'emploi d'un inhibiteur de corrosion ne modifie que très peu la perméabilité de la surface du béton, dont l'eau peut s'évaporer.

A Peney, l'ingénieur s'est toujours tenu strictement à ce concept, en refusant notamment que le béton soit peint, la finition étant réalisée avec un bouche-pores à base de ciment. Cette option est en accord avec le but visé, qui est de stopper la corrosion, l'aspect esthétique n'étant, en l'occurrence, pas le facteur déterminant. On fera par ailleurs remarquer que les peintures se dégradent notablement en vieillissant, tandis qu'un mortier de ciment devrait, au contraire, s'améliorer.

9. Exécution

Les réparations locales ont tout d'abord été effectuées par hydro-démolition. Après avoir fait sauter les éclats de béton non adhérents, le porte-lance utilisait une pression élevée (2000 bars) pour dégager les barres d'armature jusqu'à ce qu'elles ne présentent plus de traces de corrosion.

Il a ensuite fallu réaliser une grande quantité de ragréages locaux pour lesquels certains problèmes se sont posés.

Tout d'abord, le maçon devait

respecter un recouvrement minimal sur les barres et éviter de terminer le bord des réparations avec une épaisseur nulle. Cette exigence s'est évidemment avérée difficile à respecter sur les nombreuses interventions nécessaires, dont certaines présentaient une fissure orientée selon l'axe de la barre ou des cassures sur les bords. L'emploi d'un mortier de faible granulométrie (0,1 mm) a permis d'atténuer ces problèmes.

Ensuite, le critère de qualité qui devait absolument être respecté pour assurer la tenue des parties réparées, soit la résistance à l'arrachement à l'interface du béton en place et du mortier de ragréage, a été difficile à atteindre. Il s'est en effet avéré que dans le cas de réparations locales (taconnage), les produits de réparation sont très sensibles aux paramètres de mise en oeuvre et peuvent être d'une qualité irrégulière.

Enfin, le travail artisanal du maçon faisant appel à de faibles quantités de mortier, cela suppose le fractionnement des sacs de produits, d'où un risque de ségrégation. L'ouvrier est en outre appelé à se déplacer d'une réparation à l'autre et à réaliser chacune avec soin, ce qui est long. Il y a alors le risque d'un changement de consistance du produit (fig. 12).

10. Modifications apportées au processus d'exécution initialement défini

Pour remédier aux problèmes mentionnés ci-dessus, il a été décidé de modifier comme suit le processus d'exécution.

Le béton n'est que légèrement décapé (pression de la lance hydraulique = 400 bars), ce qui le débarrasse des fragments non adhérents. Par contre, même si la barre est visiblement rouillée, elle n'est pas dégagée lorsque le béton est sain. Les seules zones subissant le traitement haute pression (2000 bars) sont les nids de graviers importants. Par la suite, la surface du béton est simplement lissée avec un enduit bouche-pores.

Ce mode d'exécution, qui évite la démolition d'un béton résistant, est cohérent avec le principe de l'imprégnation MFP.

11. Mise en œuvre du MFP

L'application du MFP a été réalisée du 28 janvier au 3 septembre 1994, par sections successives, au fur et à mesure de l'avancement des travaux de réparation classiques et de la disponibilité de l'échafaudage.

La solution de MFP, à une concentration de 18%, stockée dans deux réservoirs de 1000 litres, a été appliquée par pulvérisation (fig. 13). Selon les différentes parties de l'ouvrage, de 32 à 47 passages ont été effectués. La consommation moyenne de MFP pur est de 1000 g/m².

12. Contrôle du MFP

Le contrôle de la profondeur de pénétration du MFP a été effectué périodiquement au cours du traitement, soit par le laboratoire TFB, soit par l'entreprise. Un contrôle final de seize carottes prélevées sur les différentes zones du pont, a en outre été effectué par le TFB.

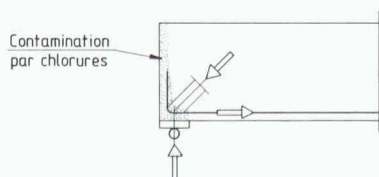


Fig. 9. – Ancrage des armatures sur appuis

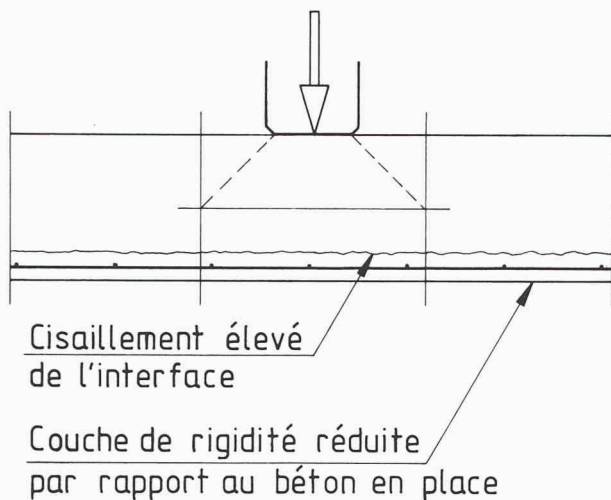


Fig. 10. – Poinçonnement

Les analyses ont été pratiquées sur des éclats de béton prélevés à différentes profondeurs. Les dosages ont été effectués au moyen d'un spectromètre RX à dispersion d'énergie (EDS), associé au microscope électronique à balayage (MEB). La profondeur de pénétration est déterminée par traçage du phosphore dans la pâte de ciment, à des profondeurs croissantes. La simple présence d'un pic de phosphore sur les spectres d'analyse indique une teneur en MFP suffisante. En effet, la limi-

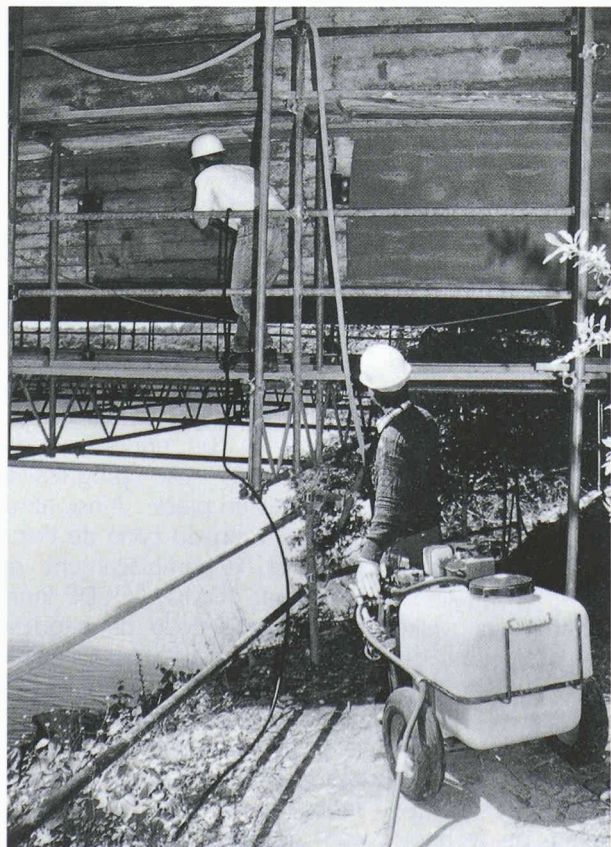


Fig. 13. – Application du procédé MFP

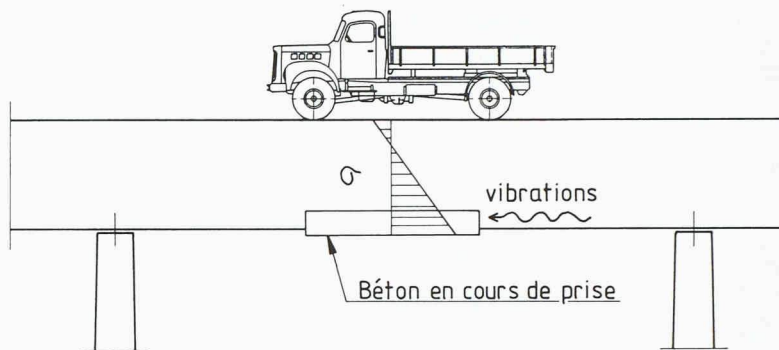


Fig. 11. – Pont en service durant les réfections

te de détection du phosphore au moyen de cette méthode correspond à une quantité de MFP largement supérieure au minimum efficace.

Les essais réalisés, tant en cours de travaux que pour le contrôle final, indiquent que la profondeur de pénétration du MFP dans le béton est de l'ordre de 30 mm et, par endroits, supérieure à 40 mm.

13. Conclusion

En présence d'un ouvrage dont la sécurité structurale est assurée (indépendamment du problème de corrosion), l'opinion de l'ingénieur est que la méthode traditionnelle de réfection par 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 encore très altérée. Dans de tels cas en effet, une couche épaisse de

béton projeté munie d'un complément d'armature apporte un renforcement.

L'imprégnation MFP permet, quant à elle, de ne pas perturber le fonctionnement statique satisfaisant d'un ouvrage, tout en traitant des armatures qu'il est tout simplement impossible de dégager pour des raisons de sécurité.

Bibliographie

Normes SIA

- 160 Actions sur les structures porteuses
- 162 Ouvrages en béton
- 462 Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants

Documentations SIA

- D 013 Corrosion des métaux dans la construction
- D 057 Corrosion et protection contre la corrosion
- D 89 Durabilité du béton armé
- D 099 Maintenance des ponts

Documentations PI-BAT

- 1991 Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil
- 1993 Le diagnostic des ouvrages de génie civil
- 1994 Réfection des ouvrages en béton



Fig. 12. – Type de réparations selon le concept initial