**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses
**Band:** 122 (1996)
**Heft:** 18

**Artikel:** Viaduc N2 de Melide (TI): assainissement des bordures
**Autor:** Martinola, Marzio
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-78861

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 13.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Viaduc N2 de Melide (TI): assainissement des bordures

*Par*
*Marzio Martinola, Dr. ing.*
*Istituto Cantonale Tecnico-Sperimentale, Lugano-Trevano*

## 1. Introduction

Le viaduc de Melide, réalisé en 1962 en béton précontraint, est formé de deux ponts qui se séparent à l'entrée du tunnel du S. Salvatore (fig. 1).

Après plus de 30 ans de service, le Département du territoire (DT), Division des constructions du canton du Tessin, sur la base d'un rapport concernant l'état du béton établi en 1993 par le laboratoire LPM de Beinwil am See, a chargé la même année le bureau d'ingénieurs Balmelli e Filippini de Lugano, d'étudier un projet d'assainissement du viaduc.

Dans le cadre général de cet assainissement, le DT donna mandat à l'Istituto Cantonale Tecnico-Sperimentale (ICTS) de Lugano-Trevano, de procéder, en collaboration avec l'ingénieur, à l'étude d'un mortier spécial de réparation et de restructuration des quatre bordures du viaduc (fig. 2).

Les travaux comprennent les quatre phases suivantes (fig. 3):

I. hydrodémolition des surfaces horizontales et verticales,
II. mise en œuvre d'un treillis d'armature (∅ 8 mm, # 10 cm),
III. préparation du coffrage en bois,
IV. mise en œuvre du mortier d'assainissement.

Dans cet article, nous présentons tout d'abord les recherches technologiques effectuées au laboratoire, qui nous ont permis de déterminer une bonne formulation du mortier. Ensuite nous illustrerons les caractéristiques et l'application de ce type de mortier en œuvre.

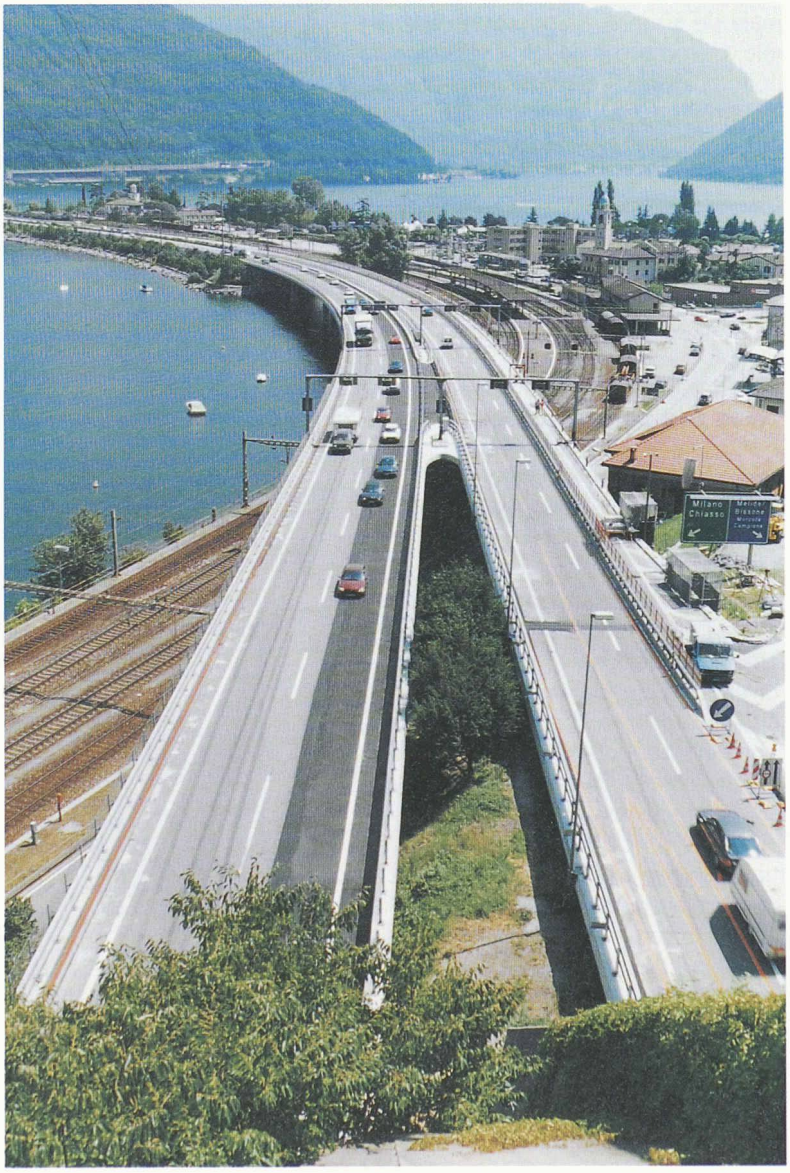


*Fig. 1. - Viaduc de Melide*

## 2. Etude de la formulation du mortier au laboratoire

*2.1 Exigences spécifiques du mortier de réparation*

On peut distinguer deux groupes d'exigences qu'un mortier de réparation doit satisfaire.

a) Exigences du chantier, concernant:
   - le stockage des composants,
   - la confection du mortier,
   - les contrôles sur mortier frais,
   - le transport, l'ouvrabilité et la cure du mortier.

b) La formulation optimale afin d'atteindre une qualité élevée du système de réparation au niveau:
   I. Du comportement mécanique
      - bonne résistance initiale, en présence des vibrations dues au trafic sur le pont,
      - bas module d'élasticité,
      - haute adhérence sur le support,
      - bonne tenue à la traction pure, c'est-à-dire valeurs élevées d'énergie de rupture,
      - fluage suffisant,
   II. Du comportement hygrique et hydrique:
      - retrait contenu,
      - faible perméabilité à l'eau,
   III. Du comportement thermique:
      - chaleur d'hydratation contenue pour éviter des tensions thermiques,
      - coefficient de dilatation thermique qui s'approche

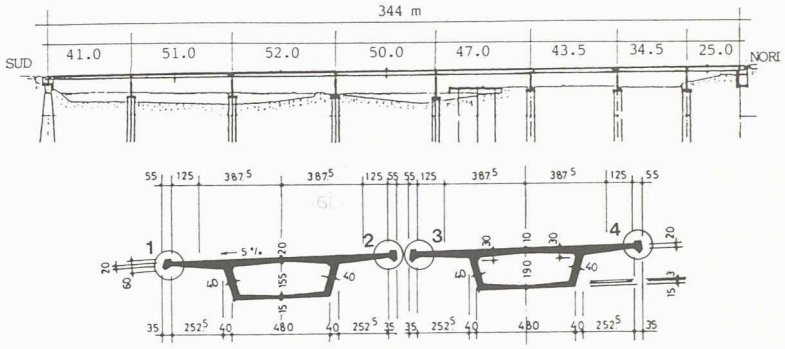


*Fig. 2. - Coupes du viaduc*

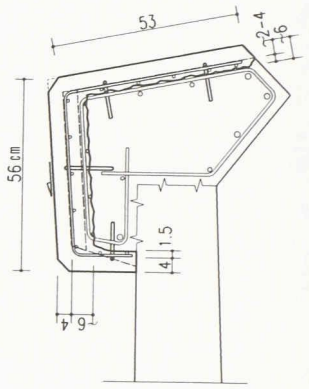


*Fig. 3. - Coupe de la bordure à réparer*

de celui du béton de support,

IV. De la durabilité :
- basse perméabilité à l'air,
- haute résistance à la carbonatation,
- haute résistance au gel et au sels de déverglaçage.

Toutes ces caractéristiques jouent un rôle très important pour assurer la qualité de l'assainissement sur une longue durée (environ 30 ans). La difficulté principale, dans ce genre de problèmes, consiste à obtenir un mortier dont la surface et l'interface avec le béton de support ne se fissurent pas. La fissuration est causée par l'empêchement, de la part du béton de support vieux et rigide, des autodéformations du mortier dues au retrait hydrique (dessication et autogène) et thermique.

Avant d'aborder la recherche, il était donc nécessaire de connaître les caractéristiques du béton de support (tableau 1).

Il s'agit d'un béton caractérisé par une bonne résistance à la compression et un faible module *E*.

**Tableau 1: Caractéristiques du béton de support**

| | |
|---|---|
| Masse volumique | 2440 ± 31 kg/m³ |
| Résistance à la compression ($f_{cw}$) | 76 ± 15 MPa |
| Module *E* | 25 ÷ 33 GPa |
| Porosité totale $A_v$ | 12,1 ± 1,9‰ vol. |
| Porosité capillaire $A_5$ | 11,4 ± 1,4‰ vol. |

### *2.2 Formulation d'un mortier PCC (Polymer Cement Concrete) [1] [2] [3]*[1].

Des essais préliminaires avec deux formulations classiques de mortier au ciment Portland avaient donné des bons résultats pour les résistances mécaniques, mais ces mortiers étaient trop rigides pour pouvoir bien collaborer avec le béton de support, qui exige un module *E* inférieur à 25 GPa.

Nous avons donc examiné un autre type de mortier, c'est-à-dire un PCC.

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article

**Tableau 2: Composition d'un m³ de mortier**

| | |
|---|---|
| BS398 * (ciment + ajuvants + sable 0/2 mm + fibre de P.P) 1070,0 kg | |
| MCI * (inhibiteur de corrosion) | 1,2 kg |
| Résine * | 160,0 kg |
| Granulats 0/8 mm | 1038,8 kg |
| **Poids du m³** | **2270,0 kg** |

**Produits de la maison Tecnochem Srl Italiana, I-24030 Barzana (BG), représentée en Suisse par B+W, Corso Elvezia 16, 6900 Lugano, Tecnochem Marketing Departement Switzerland, 1027 Lonay (VD)*

**Tableau 3: Caractéristiques du mortier frais**

| | |
|---|---|
| Rapport eau/ciment (E/C) | 0.36 |
| Masse volumique | 2270 kg/m³ |
| Consistance (Walz) | |
| dégré de compactibilité | |
| au début | 1.10 |
| après 30 minutes | 1.14 |
| teneur en air occlus | 10 % |

Plusieurs essais au laboratoire ont permis de trouver une bonne formulation avec un dosage de ciment d'environ 360 kg/m³ et une masse volumique de 2270 kg/m³ (tableau 2).

### *2.3 Caractéristiques du mortier frais*

Les valeurs mesurées sont exposées au tableau 3.

Il s'agit donc d'un mélange de très bonne ouvrabilité, assez stable sur le chantier pendant la mise en œuvre et en fonction de la température, avec un bas rapport *E/C* et une teneur en air élevée, conditions nécessaires pour atteindre la durabilité requise de l'assainissement.

### *2.4 Caractéristiques du mortier durci*

Les résultats des mesures figurent dans le tableau 4.

Ces valeurs confirment la haute qualité de la formulation proposée, caractérisée par de bonnes valeurs de résistance à la traction et à la compression, une faible valeur

**Tableau 4: Résultats des essais de laboratoire sur mortier durci**

| | |
|---|---|
| Masse volumique | 2260 kg/m³ |
| Résistance à la traction pure à 28 jours | 4.5 MPa |
| Résistance à la compression à 28 jours | 59,0 MPa |
| Module E (traction pure) à 28 jours | 17,0 GPa |
| Module E (compression) à 28 jours | 23,5 GPa |
| Module V (compression 0/10 MPa) à 28 jours | 21,0 GPa |
| Retrait (7 jours dans l'eau à 20°C + 120 jours à 23°C / 50% u.r) | 0,48 ‰ |
| Carbonatation TFB (9 jours à 95% CO2) | 0,0 mm |
| Résistance au gel et aux sels de déverglaçage, après 360 cycles: $E_{360}/E_0$ (FT - HIE) | +1,08 |

du module *E* et du retrait, une très haute résistance à la carbonatation et une haute résistance au gel.

## 3. Assainissement des bordures du viaduc de Melide

*3.1 Programme des travaux.*

Les travaux ont débuté en automne 1995 avec la réparation de la bordure de droite de la voie sud-nord, terminée vers la fin novembre 1995. Au début de mars 1996 a commencé la réparation des deux bordures centrales, qui s'est terminée au début de mai 1996; la dernière bordure sera réparée en automne.

*3.2 Organisation des travaux sur le chantier, mise en œuvre du mortier*

Etant donné que l'entreprise avait peu d'expérience avec les mortiers PCC, l'ICTS a exécuté un programme complet d'essais de convenance et de contrôle sur le chantier. La confection du mortier a été effectuée sur le site, où étaient stockés à l'air libre les sacs du *Tecnochem BS398*, le MCI, la résine et le gravier 0/8. Nous avons prescrit un malaxeur à axe vertical, à cuve fixe et palettes tournantes, animées d'un mouvement planétaire (fig. 4). Il s'agit d'un malaxeur très efficace, capable de produire après cinq minutes de mélange un mortier bien homogène, facilement contrôlable par le chef bétonnier. Chaque composant du mélange était pesé avant d'entrer dans le malaxeur. La charge pesait 450 kg, correspondant à un volume de mortier en œuvre d'environ 200 litres. Le transport du mortier a été effectué avec un *dumper* sur lequel on avait fixé une benne spéciale en acier.

La mise en œuvre (fig. 5) exige beaucoup de soins pendant:

- la décharge du mortier dans le coffrage,
- le compactage par pervibration en présence du ferraillage,
- le lissage de la surface,
- la cure du mortier, qui doit commencer tout de suite après le lissage, pour empêcher la formation de fissures dans le mortier frais, causées par l'évaporation immédiate de l'eau en surface (attention à la température et au vent!).

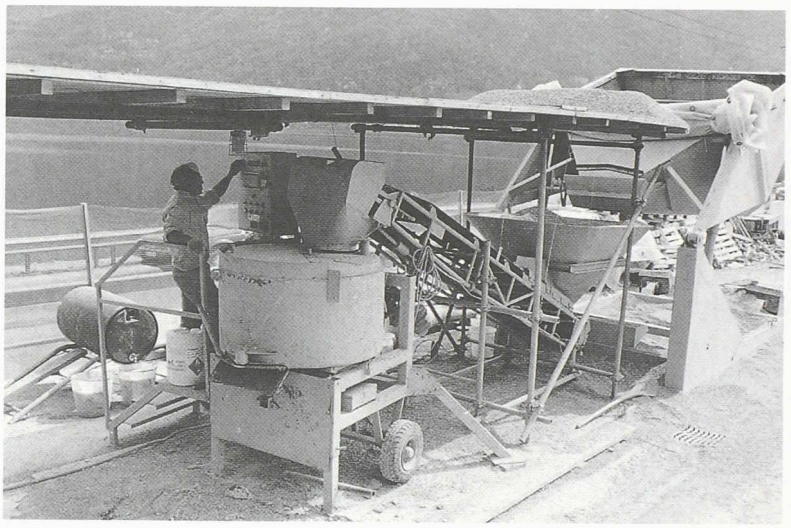

*Fig. 4. - Installation de bétonnage sur le chantier*

Sur le chantier, le mortier frais a présenté une haute sensibilité à toute évaporation non contrôlée. Pendant les premiers trois jours, le mortier fut conservé humide dans son coffrage. Ensuite on a enlevé le coffrage et maintenu le mortier humide encore pendant au moins deux à trois semaines.

*3.3 Contrôles pendant la mise en œuvre et la cure du mortier*

Le contrôle systématique a porté sur la masse volumique, la teneur en air occlus du mortier frais, des éprouvettes cubiques étant confectionnées. Au début des travaux, on a en outre mesuré la variation de température pendant la phase initiale de durcissement du mortier (fig. 6). Ces mesures montrent que la différence de température entre le mortier et le béton de support est seulement de l'ordre de quelque degrés et dure environ une journée.

*3.4 Résultats des essais sur des cubes du chantier, déposés au laboratoire*

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 5.

*Fig. 5. - Mise en œuvre du mortier*

Ces valeurs confirment la bonne qualité de confection du mortier sur le chantier.

*3.5 Résultats des essais effectués sur le mortier mis en œuvre, au moyen de carottages de 5 et 10 cm de diamètre*

Le carottage du mortier d'assainissement des bordures permet de vérifier directement la qualité effective de la réparation structurale du béton des bordures du viaduc. En effet, dans ce cas, le mortier durcit dans les conditions réelles, exposé aux agents atmosphériques et aux vibrations du trafic. Dans ce contexte, l'essai d'adhé-

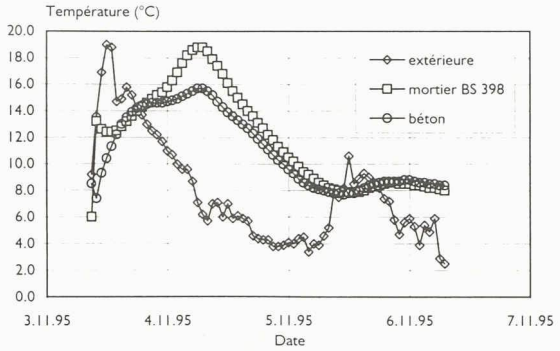


*Fig. 6. - Mesure de la température d'hydratation initiale du mortier*

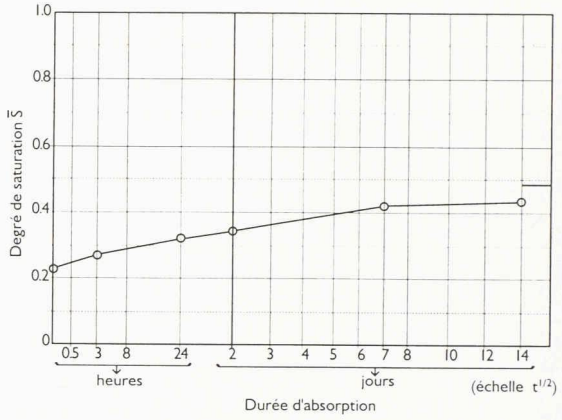


*Fig. 7. - Essai d'absorptions en fonction du temps*

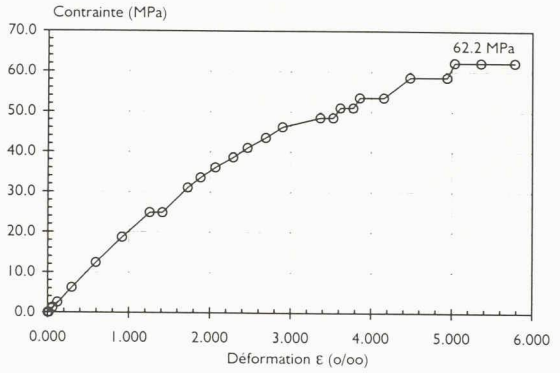


*Fig. 8. - Essai de compression avec fluage (durée env. 8 heures)*

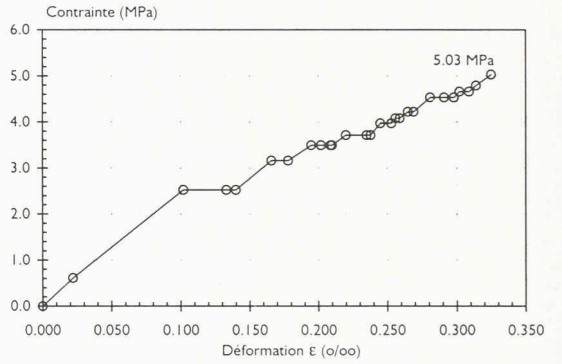


*Fig. 9. - Essai de traction avec fluage (durée 18 jours)*

rence du mortier sur le béton de support fournit une information très importante, puisqu'elle concerne simultanément la qualité :

- du mortier,
- du béton de support et
- de l'interface mortier/béton.

Sur le chantier, l'interface a été soigneusement préparée par l'une des meilleurs techniques, c'est-à-dire l'hydrodémolition, avec un degré de rugosité d'environ 1 cm. Le tableau 6 indique les résultats des essais réalisés sur des carottes prélevées sur l'œuvre. Dans son ensemble, la qualité du mortier mis en œuvre s'avère très bonne, même avec une masse volumique inférieure à celle du mortier de laboratoire. Elle satisfait amplement aux exigences de la formulation de laboratoire.

Les données du tableau 6 sont complétées par trois graphiques :

I. Courbe degré de saturation/durée d'absorption (fig. 7)
II. Courbe compression/ déformation avec fluage du mortier à l'âge de 90 jours (fig. 8)
III. Courbe traction pure/ déformation avec fluage du mortier à l'âge de 90 jours (fig. 9)
IV. Courbe traction pure/ déformation lente contrôlée (fig. 10).

Ces graphiques indiquent un mortier caractérisé par :

- une absorption capillaire réduite, inférieure de 50 % du degré de saturation *S*,
- une déformation élevée à la rupture par compression de 5,8 ‰ ,
- une déformation élevée à la rupture par traction pure de 0,33 ‰,
- une haute énergie de rupture à traction pure de 307 N/m.

**Tableau 5: Résultats des essais sur cubes de chantier (15/15/15 cm)**

| Caractéristiques | 1ère bordure | 2e et 3e bordure |
|---|---|---|
| 1. Masse volumique: (kg/dm³) | | |
| Age: 3 jours | 2,27 ± 0,04 | — |
| 7 jours | 2,27 ± 0,03 | 2,24 ± 0,05 |
| 14 jours | — | 2,25 ± 0,05 |
| 28 jours | 2,27 ± 0,03 | 2,25 ± 0,05 |
| 2, Résistance à la compression: | | |
| Age: 3 jours (MPa) | 42,0 ± 4.9 | — |
| 7 jours | 49,0 ± 4.1 | 47,1 ± 4,6 |
| 14 jours | — | 52,8 ± 4,8 |
| 28 jours | 56,9 ± 5.0 | 56,9 ± 4,9 |
| 3. Modules *V* (0/10 MPa) et *E*: | | |
| Age: 7 jours (GPa) | 18,4 ± 1,4 / 21,3 ± 1,5 | 16,4 ± 1,1 / 18,8 ± 1,5 |
| 28 jours | 20,6 ± 1,5 / 23,3 ± 1,4 | 19,6 ± 1,1 / 22,1 ± 1,2 |
| 4. Dilatation thermique $a_t$ (1/°C) | 11,5 . $10^{-6}$ (1/°C) | |

## 4. Conclusions

La réparation du béton des bordures des ponts frappées par la fissuration, la carbonatation, le gel-dégel en présence de sels de déverglaçage, exige beaucoup de connaissances concernant :

- les caractéristiques du béton à réparer,
- les propriétés technologiques du mortier d'assainissement,
- les caractéristiques de l'interface mortier/béton.

Le premier problème à résoudre est la durabilité de l'adhérence entre mortier et béton de support en absence de toute fissuration active. Notre étude a clairement illustré la validité de l'application pratique d'un mortier PCC de haute qualité aux problèmes spécifiques de la réparations des bordures des

ponts, exposées à tous les dangers de sollicitations.
La haute qualité du mortier mis en œuvre correspond pratiquement à celle obtenue par les essais de qualification au laboratoire. Les caractéristiques de ce mortier ont permis la réalisation de l'assainissement des bordures sans joints, sur une longueur totale du viaduc d'environ 350 mètres.
Même du point de vue esthétique, la réparation a donné toute satisfaction (fig. 11).

## Bibliographie


[1] « Guide for the Use of Polymers in Concrete », *ACI Journal*, September-October 1986

[2] HAARDT, P. : « Zementgebunden und Kunstoffvergütete Beschichtungen auf Beton », PhD. Thesis, Schriftenreihe des Institutes für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe, 13, 1991

[3] « Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen », Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln, 1990-1992



Nous remercions la Division des constructions du canton du Tessin, qui a autorisé la publication des résultats de nos recherches et analyses au laboratoire et des contrôles sur le chantier, et les techniciens de l'ICTS qui ont contribués à la réussite de cette recherche.


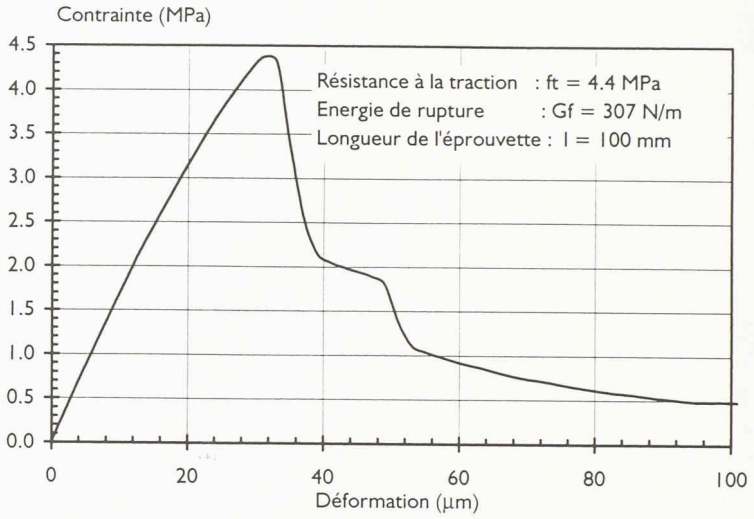


*Fig. 10. - Essai de traction pure/déformation lente contrôlée (effectué au Laboratoire IBWK de l'EPFZ, prof. F.H. Wittmann)*

**Tableau 6: Résultats des essais sur carottage des bordures**

| Caractéristiques | 1ère bordure | 2e et 3e bordure |
|---|---|---|
| 1. Masse volumique: (kg/dm³) | 2,21 ± 0,05 | 2.19 ± 0,06 |
| 2. Résistance à la compression $f_{cw}$ (MPa)<br>Age (27÷52 jours)<br>(34÷97 jours) | <br>61,0 ± 12,1<br>— | <br>—<br>61.1 ± 8,1 |
| 3. Modules *V* (0/10 MPa) et *E* (GPa)<br>Age: (27÷52 jours)<br>(34÷97 jours) | <br>18,5 ± 1,5 / 21,1 ± 1,8 | <br>—<br>19,0 ± 2,2 / 21,9 ± 2,6 |
| 4. Adhérence | 3,0 ± 0,6 | 3,1 ± 0.7 |
| 5. Permeabilité aux ions de Cl (FHWA/RD81) (C) | 439 | — |
| 6. Résistance au gel et aux sels de déverglaçage (g/cm²) | 314 | — |
| 7. Perméabilité à l'air<br>Methode Torrent<br>– surface horizontale (m²)<br>– surface verticale (m²) | <br><br>—<br>— | <br><br>$0,09 \times 10^{-16}$<br>$0,03 \times 10^{-16}$ |
| Carbonatation rapide (9 jours à 95% CO2)<br>Méthode TFB (mm) | 0,0 | |
| 9. Porosité (Fig.7)<br>– totale (% vol.)<br>– ouverte $U_E$ (%-vol.)<br>– fermée n-$U_E$ (%-vol.) | <br>20,1<br>9,6<br>10,5 | <br>—<br>—<br>— |
| 10. Energie de rupture à traction pure $G_f$ (N/m) | 307 | — |

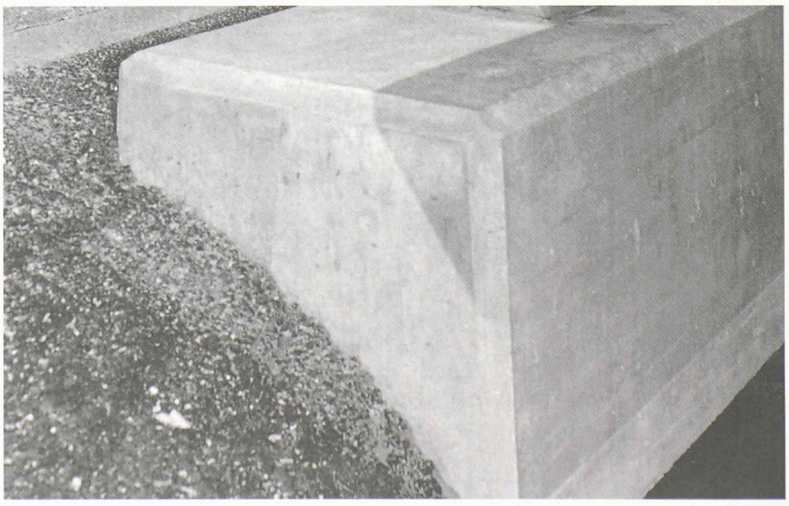

*Fig. 11. - Bordure réparée*