

# Réfection des façades en béton apparent de l'Ecole d'ingénieurs d'Yverdon

Autor(en): **Brühwiler, Eugen**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **125 (1999)**

Heft 13/14

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79631>

## **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.

# Réfection des façades en béton apparent de l'Ecole d'ingénieurs d'Yverdon

Eugen Brühwiler, ing. civil. dipl. EPFZ/SIA, Prof. Dr ès sc. techn. Département de Génie Civil, EPF Lausanne et Pierre Plancherel, arch. ETS, Plancherel et Schmid, Architectes ass. SA, Dommartin

Les bâtiments de l'école d'ingénieurs d'Yverdon-les-Bains sont le fruit d'un concours remporté en 1965 par les architectes Claude Paillard et Peter Leemann, de Zurich. Achevé en 1975, l'ouvrage orienté nord-ouest expose au lac de Neuchâtel sa façade prismatique en verre à décrochements échelonnés (fig. 1) et coté sud-est, il constitue un écran antibruit contre les nuisances sonores de l'autoroute prévue à l'époque (fig.3). La conception structurelle du bâtiment est définie par une trame carrée de 3,9 m de côté, selon une géométrie confirmée en façade par l'utilisation modulaire d'éléments vitrés ou de béton lisse préfabriqués. Cette réalisation a été distinguée par le «Prix béton» en 1981.

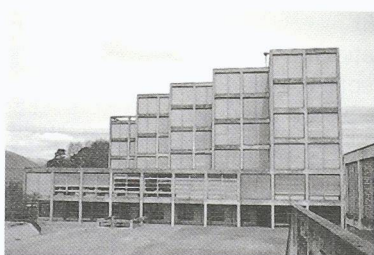


Fig. 1. Ecole d'ingénieurs (EINEV) Yverdon-les-Bains : Façade Ouest. (Photo Eric de Lainsecq)

En 1988, les premiers dégâts visibles dus à la corrosion des armatures ont été constatés sur les façades, puis, les dégradations allant croissant, le maître de l'ouvrage a dû se résoudre, en 1995, à entreprendre une remise en état qui fut effectuée en 1997/98 selon le procédé appelé «Réparations locales en béton et traitement avec des inhibiteurs».

## Evaluation de l'état

Composées d'éléments préfabriqués de 8 cm d'épaisseur avec un treillis d'armature (fig. 2 a), les façades en béton apparent servent de peau à l'ossature porteuse intérieure en béton armé, qui a été coulée sur place. En règle générale, selon le plan, l'épaisseur d'enrobage atteint 10 mm, bien qu'à certains endroits isolés, elle se trouve en fait réduite à 5 mm. La profondeur de carbonatation varie fortement, mais atteint en général 15 mm. De plus, des éclatements de béton isolés indiquent une corrosion avancée des armatures dans des zones particulièrement exposées et une qualité de béton localement insuffisante.

Les façades en béton apparent réagissent en effet fortement aux in-

fluences climatiques auxquelles elles sont exposées (variations de température, pluie, alternance mouillé-sec).

## Etude d'intervention

S'appuyant sur la norme SIA 162/5, art. 6 2 [1,2]<sup>1</sup>, l'étude d'intervention a été menée en trois phases.

### Phase 1: détermination du but

Conformément aux décisions de principe arrêtées par le propriétaire, les exigences de remise en état suivantes ont été établies:

- rentabilité d'une longue durée d'utilisation restante (plus de 50 ans) pour l'ouvrage et les façades en béton apparent;
  - remise en état n'altérant pas l'esthétique des surfaces en béton apparent;
  - travaux de construction (bruit, durée) n'affectant que faiblement le fonctionnement de l'école;
  - préservation des volumes bâtis.
- Susceptibles d'entraver la durabilité et la sécurité de l'ouvrage, les actions prévues ont été considé-

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient aux références bibliographiques données en fin d'article.

rées sous l'angle de situations de risque. Les figures 2b et 2c présentent les quatre principales interventions à risque et les mesures afférentes.

Dans la suite du présent article, seule la situation de risque liée à la corrosion des armatures sera traitée. A partir de l'état, de son évolution probable, des exigences et des actions, trois objectifs (SIA 162/5, art. 5 33) ont été formulés dans le cadre des mesures à prendre: (1) réparer les endroits présentant des éclatements de béton, (2) stopper ou fortement ralentir le développement futur des dégâts et (3) protéger les barres d'armature intactes pour prévenir la corrosion.

### Phase 2: choix du projet d'intervention

Les procédés et les systèmes suivants ont été pris en considération pour la remise en état (tableau 1). Après analyse, il apparaît que la variante 2 satisfait le mieux aux exigences. Les variantes 3 et 4 n'ont pas été développées plus avant en raison de leur coût élevé et de leur forte influence sur le fonctionnement de l'école, tandis que la variante 1 a été écartée car elle dénaturait l'esthétique du béton apparent.

Comme le procédé de remise en état «inhibiteurs» (SIA 162/5, art. 6 3) est encore peu connu et peu utilisé, des essais préliminaires (essais d'absorption), sanctionnées par des résultats favorables, ont été effectués avant la phase 3.

Dix mortiers de réparation différents ont par ailleurs été testés dans

Variante	Procédés et systèmes	Estimation des coûts * (Fr./m <sup>2</sup> )
1	Réparation du béton et application d'une fine couche rigide (OS 4)	160
2	Réparation du béton et application d'un inhibiteur	170
3	Remplacement des éléments préfabriqués par de nouveaux éléments identiques	390
4	Pose d'un bardage, façade ventilée	330 - 400

Tableau 1. Variantes pour la remise en état

\* Remise en état du béton, y compris échafaudage et honoraires

Béton :

- porosité capillaire élevée
- perméabilité à l'eau : 24 g/m<sup>2</sup> h
- carbonatation : 4...17 mm, en moyenne Ø 12 mm

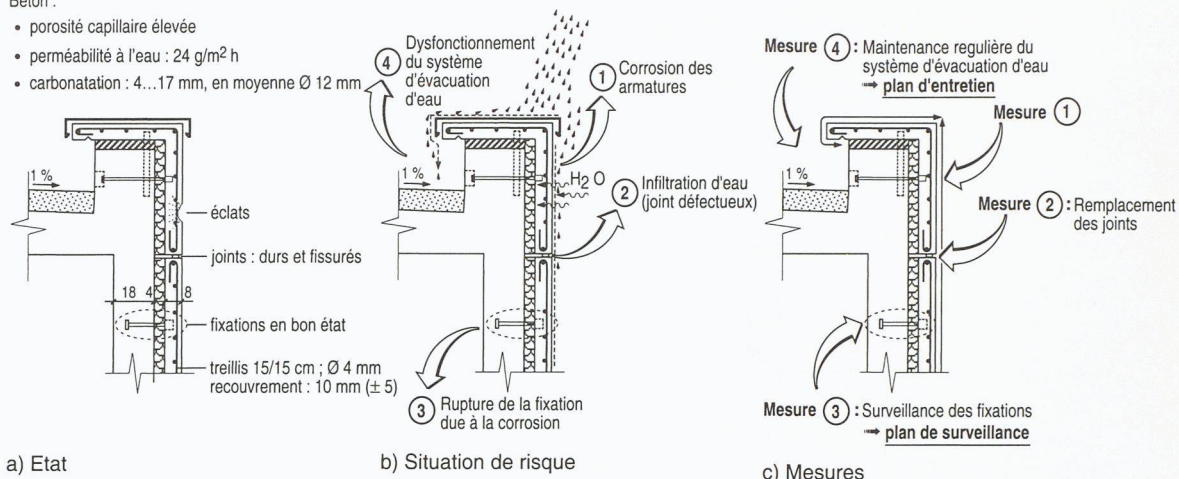


Fig. 2. Eléments de façade en béton apparent : a) état, b) situations de risque, c) mesures

le but d'harmoniser la couleur avec l'ancien béton. Or si tous les mortiers de réparation présentaient l'adhérence préconisée par la SIA 162/5, ils se différenciaient en revanche du béton existant par leur couleur et leur texture de leur surface, la plupart étant trop foncés.

### Phase 3: préparation de la soumission

Les exigences relatives aux mortiers de réparation et aux inhibiteurs, tout comme les conditions d'exécution, ont été précisées dans le dossier d'adjudication. Les spécifications concernant les exigences de qualité, les procédés de vérification et les critères de détérioration sont exposés ci-après.

### Réparation du béton

Les endroits dégradés par des éclatements du béton ont été remis en état selon le procédé « usuel » (remplacement du béton), tandis que les éléments de façade présentant des dégâts importants ont été entièrement réparés. Les travaux de réparation ont pu être menés à bien sans difficultés particulières. Au niveau esthétique, toutefois, le résultat n'est pas toujours complètement satisfaisant

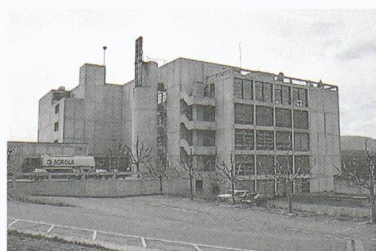


Fig. 3. Ecole d'ingénieurs (EINEV) Yverdon-les-Bains: façade Sud-est. (Photo Eric de Lainsecq)

faissant dans la mesure où certaines réparations se distinguent légèrement par rapport au béton existant (fig. 4). On peut cependant s'attendre à ce que les endroits réparés qui présentent une couleur plus foncée s'éclaircissent avec les années.

### Inhibiteurs

Les inhibiteurs (voir SIA 162/5, art. 6.3 et [3,4]) sont appliqués sur la surface extérieure du béton et y pénètrent par aspiration capillaire, pour autant que l'on ait affaire à un béton suffisamment perméable. Les inhibiteurs s'enrichissent à l'interface entre les deux phases métal/électrolyte et empêchent la corrosion grâce à leur absorption ou par la formation d'un film protecteur. Les effets des inhibiteurs résident dans l'influence de la réaction anodique et/ou cathodique partielle, où les agents actifs créent une couche de protection sur les aciers d'armature, ce qui permet de réduire sensiblement la vitesse de corrosion. Cela dit, les mécanismes d'action des inhibiteurs ne sont pas encore connus dans le détail.

Sur des éléments en béton armé, les inhibiteurs peuvent être appliqués préventivement ou curativement; dans le premier cas, pour empêcher le début de la corrosion des armatures ou du moins pour le retarder, et dans le second, afin d'empêcher ou de ralentir le processus de corrosion en cours (dans le cas d'une étendue limitée des dégâts).

Le procédé n'est alors efficace que si l'agent actif se trouve en concentration suffisante et ce,

dans la zone des aciers d'armature. Ces deux conditions principales fournissent les critères de réduction lors de l'exécution. Alors que la profondeur de pénétration peut être déterminée de manière objective et fiable, on est contraint de se fier aux indications du fournisseur des inhibiteurs de corrosion pour en définir la concentration adéquate, afin que ceux-ci puissent déployer leurs effets.

### Inhibiteurs MFP

Les façades des bâtiments de l'école d'ingénieurs ont été traitées avec les inhibiteurs MFP (monofluorophosphate de sodium) [5], proposés dans l'offre la plus avantageuse. Le traitement n'a pas occasionné de difficultés particulières, les mesures de précaution lors de l'exécution ne portant que sur un point: l'application du MFP ne devait pas avoir lieu moins de sept jours après le re-profilage des endroits où le béton avait dû être réparé, car la substance agit comme un retardateur de prise. Par ailleurs, à des endroits isolés, des solutions hautement concentrées de MFP ont interagi avec l'effet de lavage survenant après de fortes pluies et ont mené à des

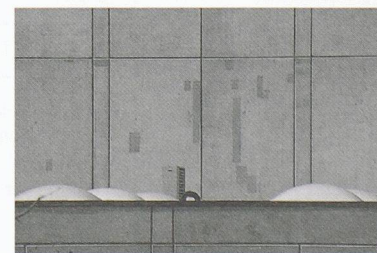


Fig. 4. Remise en état des surfaces en béton apparent avec les endroits réparés (Photo Eric de Lainsecq)

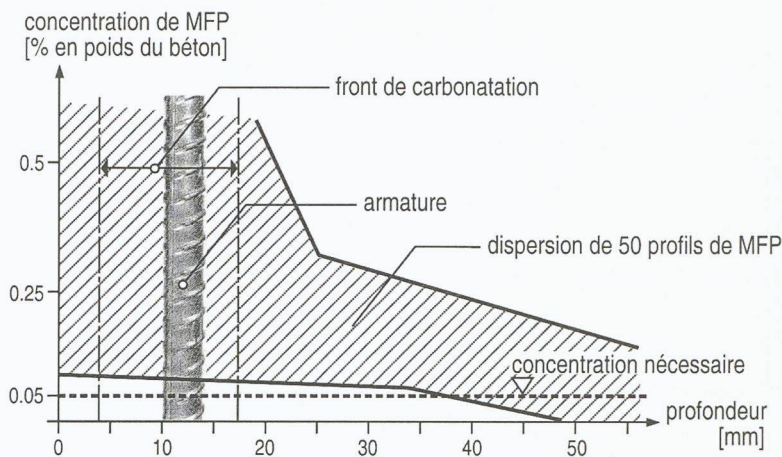


Fig. 5. Profils de MFP

efflorescences inattendues, qui ont pu être en grande partie nettoyées.

Pour le contrôle de la qualité, la teneur en phosphore (et donc la concentration de MFP) a été déterminée par l'analyse chimique de carottes, avec les résultats suivants (fig. 5):

- profondeur de pénétration: l'inhibiteur a pénétré à une profondeur supérieure à 40 mm et ainsi bien au-delà du niveau des armatures;

- concentration des inhibiteurs: le fournisseur a donné la concentration de MFP nécessaire pour qu'il agisse sur du béton carbonaté à 0,05% en masse (rapportée au béton), il se fiait pour cela à ses propres résultats, couplés à ceux fournis par un laboratoire [6,7]. Dans la zone de l'armature, la concentration en MFP s'est en général révélée nettement supérieure à la concentration préconisée.

La dispersion des profils de MFP et de la profondeur de carbonatation s'explique par les différences de perméabilité du béton. Généralement, les endroits qui présentent une importante profondeur de carbonatation contiennent égale-

ment une grande concentration d'inhibiteurs; en comparaison, les faibles concentrations de MFP apparaissent pour des bétons étanches avec une carbonatation faiblement avancée. Les inhibiteurs sont ainsi présents aux endroits où ils sont réellement nécessaires.

Les résultats positifs du contrôle de qualité laissent donc augurer d'une remise en état réussie; autrement dit, la corrosion des armatures devrait ainsi être arrêtée ou du moins fortement ralentie.

Comme il n'y a pas véritablement de preuve tangible du fonctionnement des inhibiteurs appliqués sur des ouvrages, il a été décidé de compléter les contrôles par un système de mesure fixe afin de déterminer les paramètres de corrosion. Ce monitoring a pour but de suivre l'effet des inhibiteurs sur plusieurs années et d'ausculter en permanence l'état des façades en béton apparent dans le cadre de la surveillance [8].

#### Conclusion

Les façades en béton apparent des bâtiments de l'école d'ingénieurs

d'Yverdon-les-Bains ont été remises en état selon le procédé appelé «Réparations locales en béton et traitement avec des inhibiteurs». Exempt de difficultés liées à l'exécution, le procédé choisi n'altérerait que faiblement l'esthétique et l'utilisation du bâtiment. Grâce au monitoring<sup>2</sup> ensuite mis en place, l'effet des inhibiteurs pourra être suivi sur plusieurs années et il faut espérer que ce procédé de remise en état - à la fois élégant, car léger, économique et préservant les matériaux de construction - puisse dès lors se répandre. □

<sup>2</sup> Voir à ce propos l'article d'Aldo Rota et Dieter Flückiger en pages 243-245 du présent numéro

#### Références bibliographiques

- [1] Recommandation SIA 162/5 «Conservation des structures en béton», Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, 1997
- [2] BRÜHWILER, E.: «Etude d'interventions», Journée GPC/GCO «Conservation des structures en béton - Introduction dans la recommandation SIA 162/5», Documentation SIA D 0144, 1997, pp. 27-36
- [3] HUNKELER, F.: «Instandsetzungsverfahren, FBH/FEB» - Tagung «Erhaltung von Betontragwerken», Documentation SIA D 0144, 1997, pp. 37-53
- [4] ELSENER, B., BÜCHLER, M. AND BÖHNI, H.: «Corrosion Inhibitors for steel in concrete», in «Corrosion of Reinforcement in Concrete - Monitoring, Prevention, Rehabilitation», EFC Series 25, The Institute of Materials, London, 1998
- [5] MALRIC, B.: «MFP inhibiteurs», Fiche technique, MFP AG, Genève, juin 1996
- [6] 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*, Vol. 26, No 3, pp. 405-415, 1996
- [7] RAHARINAIVO R.: «Action des Mono-fluorophosphates sur la corrosion des armatures dans le béton», Laboratoire Central des Ponts et chaussées, Rapport DT/OAM/AR81-96
- [8] ROTA, A. FLÜCKIGER, D.: «Monitoring après la remise en état du béton apparent avec des inhibiteurs - Ecole d'ingénieurs d'Yverdon», IAS 13-14/1999, p.243 ss.

Surface totale de la façade	7'200 m <sup>2</sup>
Coût global <sup>1</sup>	156 Fr. / m <sup>2</sup>
Répartition des tâches :	
Réparation du béton	37 %
Inhibiteurs	32 %
Echafaudage	15 %
Honoraires	10 %
Monitoring	2.7 %
Idivers	3.3 %

Tableau 2. Quantités principales et coûts

#### Intervenants

**Maître de l'ouvrage:**  
Canton de Vaud,  
Service des bâtiments, Lausanne  
**Auteur du projet et direction des travaux:**  
P. Plancherel et A. Schmid,  
Architectes associés SA, Dommartin  
**Expert:**  
Prof. E. Brühwiler, EPFL Lausanne  
**Entreprise:**  
Renesco SA, Renens  
**Inhibiteurs:**  
Construction Perret SA,  
Carouge-Genève et  
MFP S.A. (Dr Malric), Genève.  
**Monitoring:**  
Flückiger + Bosshard A.G., Horgen