

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Herausgeber:** Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)  
**Band:** 60-61 (1992-1993)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Protection cathodique contre la corrosion  
**Autor:** Hermann, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-146315>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

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

# BULLETIN DU CIMENT

AOUT 1993

61e ANNEE

NUMERO 20

---

## Protection cathodique contre la corrosion

Les systèmes de protection cathodique stoppent la corrosion des armatures dans les ouvrages en béton armé infestés par des chlorures, sans qu'il soit nécessaire d'éliminer le béton infesté.

Le moyen le plus efficace et le plus économique de protéger durablement les ouvrages en béton armé contre la corrosion consiste à fabriquer un béton à faible porosité, aussi compact que possible. Il faut en outre que l'armature soit suffisamment recouverte. En procédant de la sorte, on peut empêcher dans une large mesure, ou même complètement, la pénétration de ions de chlorure et la progression



Eclatements résultant de la corrosion de l'armature.

(Photo: Helbling Ingenieurunternehmung AG, Zurich)

2 de la carbonatation du béton jusqu'à l'armature. Voilà ce que chacun devrait savoir.

Malheureusement, la dégradation des ouvrages, et principalement les éclatements du béton au-dessus des aciers d'armature corrodés, prouvent qu'entre théorie et pratique il y a souvent une grande différence. C'est pourquoi la réparation de fautes commises dans le passé est devenue une activité importante pour de nombreux entrepreneurs.

Le présent «Bulletin du ciment» est consacré à la réfection d'ouvrages dégradés par la corrosion au moyen de la protection cathodique, un procédé qui, en Suisse également, a de plus en plus d'adeptes. Pour faciliter la compréhension de ce qui va suivre, nous allons d'abord traiter de façon simplifiée de la corrosion de l'acier dans le béton [1–4].

### La corrosion de l'acier dans le béton

Dans le béton, l'acier est en principe protégé, car sous l'action de la pâte de ciment fortement alcaline (pH 12,5 à 13,5), il se forme spontanément à sa surface une couche protectrice très mince, continue et adhérent solidement. Cette couche passivante, composée d'oxydes ferriques, empêche à peu près complètement la corrosion. Toutefois, en présence de ions de chlorure ou de valeurs pH inférieures à 9,5 (abaissement du pH dû à la carbonatation [5]!), elle n'est plus stable; en présence d'eau et d'oxygène, il y a un risque de corrosion pour l'armature.

La corrosion de l'acier d'armature (*schéma 1*) est un processus électrochimique complexe, au cours duquel les points où la couche

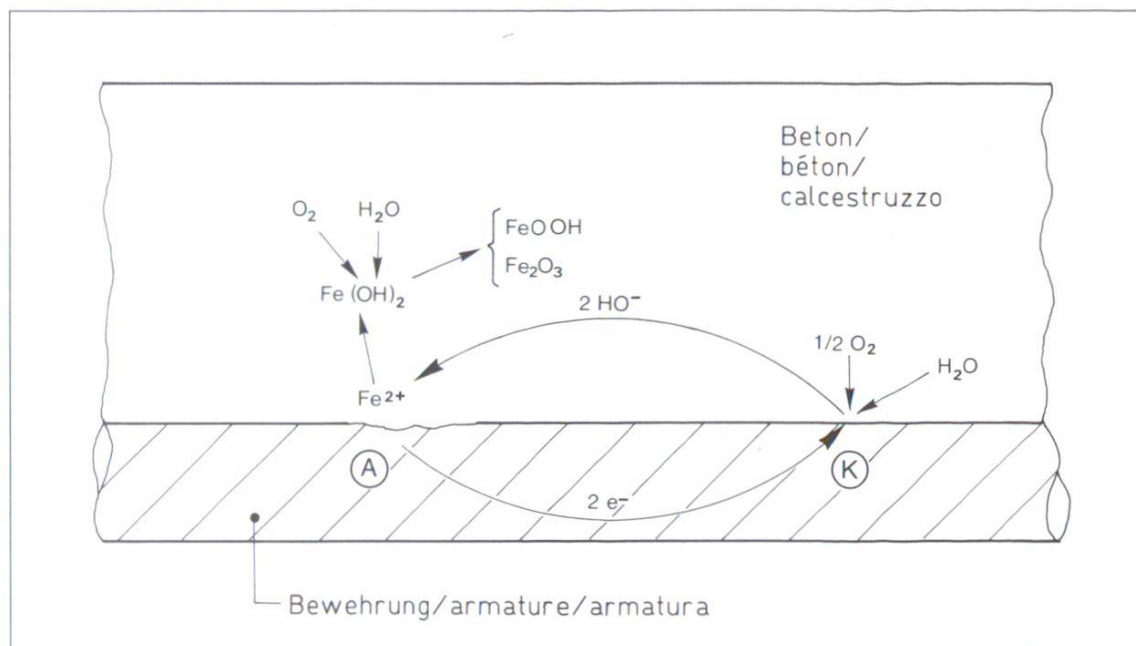
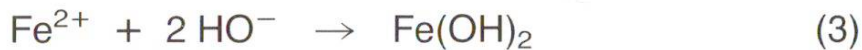


Schéma 1. Représentation simplifiée de la corrosion des armatures dans le béton (A = anode, K = cathode). (Dessins: TFB)

3 passivante est détruite agissent comme des anodes, et les zones avec couche passivante intacte, comme des cathodes. Pendant le processus anodique élémentaire (1), des ions fer se détachent de l'édifice réticulaire du métal. Sous l'action de la différence de potentiel en train de se constituer, les électrons libérés migrent vers la cathode. C'est là qu'a lieu le processus cathodique élémentaire (2), qui, dans un milieu basique à neutre, consiste en une réduction d'oxygène. Les processus élémentaires peuvent être formulés comme suit:



Pour fermer le circuit, il faut également un électrolyte, dans lequel les ions formés peuvent se dissoudre et être transportés. Dans le béton armé, c'est la solution contenue dans les pores du béton qui en fait office. Dans l'électrolyte, les ions hydroxyle qui se sont formés au cours du processus cathodique élémentaire migrent vers les ions fer; il se forme de l'hydroxyde ferrique, que l'oxygène (pour autant qu'il y en ait suffisamment) transforme en rouille, soit en un mélange de FeOOH et de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:



La disposition et l'étendue des surfaces anodiques et cathodiques peuvent différer beaucoup. Si elles sont petites et très rapprochées, il s'agit de corrosion localisée ou de corrosion par micro-élément, qui ne progresse généralement que lentement. Le métal est rongé régulièrement. On observe cette forme de corrosion principalement en cas de carbonatation de grande surface allant jusqu'à l'armature, ou en cas de fortes concentrations de chlorures.

La corrosion par macro-élément apparaît généralement en cas de corrosion induite par des chlorures. Au début du moins, on trouve, en face de quelques petites surfaces anodiques, des surfaces cathodiques nettement plus grandes; souvent, plusieurs mètres séparent ces surfaces. On observe alors fréquemment une corrosion par piqûres. En se développant, ces piqûres forment des trous distincts et profonds, qui entraînent une diminution considérable de la section portante de l'acier d'armature.

Et comme la rouille occupe un volume beaucoup plus grand que le fer duquel elle provient, les premiers éclatements du béton apparaissent peu après le début de la corrosion. A ce stade, les atteintes à la fonction portante sont encore bénignes; une réparation sans remplacement de parties de l'armature est possible.

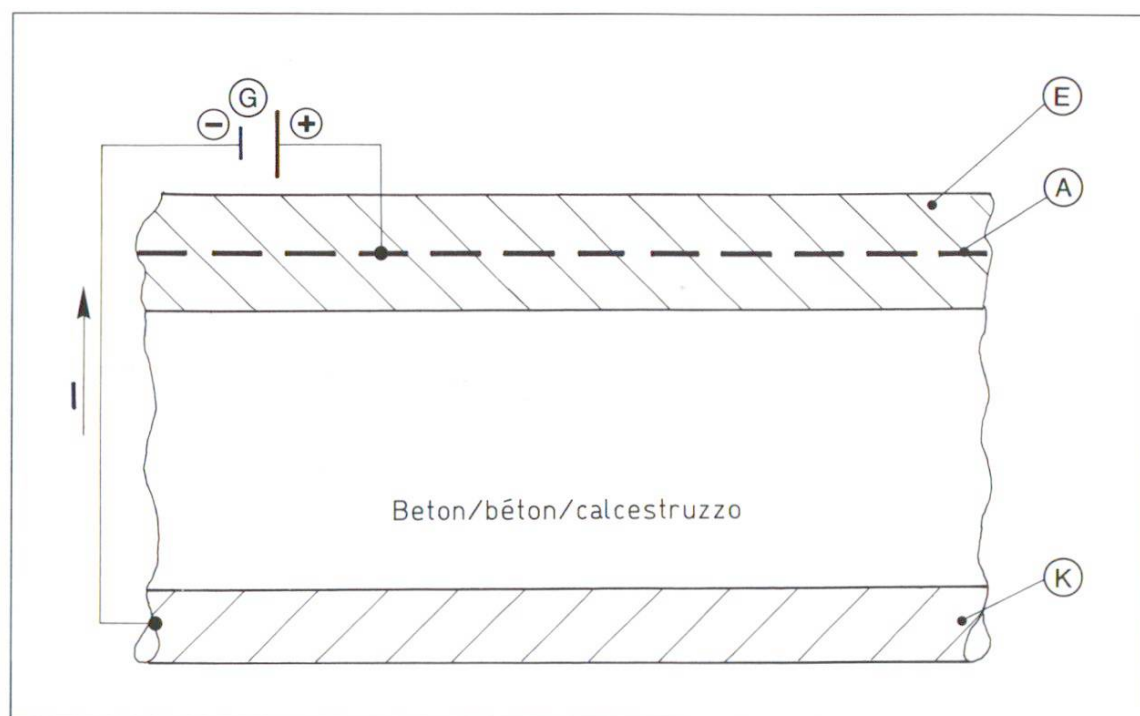


Schéma 2. Protection cathodique contre la corrosion avec anode inerte à courant imposé (A) noyée (E) et source de courant continu (G). L'armature (K) joue exclusivement le rôle de cathode.

La protection cathodique a fait ses preuves pour la réfection de parties de construction infestées par des chlorures. C'est pourquoi il vaut la peine de traiter brièvement du rôle des ions de chlorure dans la corrosion [6, 7]. Ils ne se contentent pas de percer la couche passivante de l'armature en cas de valeurs pH élevées, mais accélèrent aussi la corrosion.

Actuellement, on part du principe que des concentrations de chlorures de  $\leq 0,4\%$  (par rapport au dosage en ciment) ne constituent pas un danger pour l'armature, ce qui est dû, entre autres, au fait que le  $C_3A$  peut fixer les ions de chlorure dans la pâte de ciment. C'est pourquoi les bétons qui, prévisiblement, seront fortement sollicités par des chlorures ne doivent jamais être fabriqués avec des ciments Portland à haute résistance aux sulfates (CPHS, marques «Sulfix» et «Sulfacem»), qui contiennent un très faible pourcentage de  $C_3A$  [8]. (L'utilisation de certains ciments de haut fourneau représente une solution [4].)

Indiquer des valeurs limites pour la concentration de ions de chlorure tolérable dans le béton est en fait difficile, car elle ne dépend pas uniquement de la quantité et de la composition du ciment, mais également de nombreux autres facteurs. Le facteur  $e/c$  (porosité), l'humidité existante et l'alcalinité du béton, par exemple, sont également importants. Et la carbonatation influe aussi sur la corrosion due aux chlorures, car elle libère des ions de chlorure précédemment fixés.

## 5 Protection cathodique contre la corrosion

La protection cathodique contre la corrosion d'objets métalliques, de conduites enterrées par exemple, était déjà connue au siècle dernier. Les premiers essais in situ pour protéger des ouvrages en béton armé, tels que tabliers de pont et dalles de couverture de parking, remontent à beaucoup moins longtemps: ils ont été effectués voici environ 20 ans, en Amérique du Nord. Et il n'y a que huit ans que cette méthode a été appliquée pour la première fois en Suisse, sur un petit pont [9]. En publiant, fin 1991, la «Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken» [10], la Société suisse de protection contre la corrosion a créé les conditions pour que ce procédé se répande plus largement. Dans cette directive, on a pris en considération la protection cathodique au moyen d'anodes intégrées dans l'ouvrage.

En réparant uniquement les dégâts dus à la corrosion qui sont visibles, on court toujours le risque de voir rapidement apparaître de mêmes dégâts à d'autres endroits n'ayant pas été assainis. Une autre solution, mais coûteuse, pour la remise en état de structures en béton infestées par des chlorures, est d'éliminer sur toute la surface le béton contaminé, de nettoyer l'armature, et d'ensuite reprofiler. Avec la protection cathodique contre la corrosion de constructions en béton armé [3, 4, 9–13], il n'est par contre pas nécessaire d'éliminer le béton chargé de chlorures.

Le principe de la protection cathodique contre la corrosion est représenté de façon simplifiée dans le *schéma 2*: à la surface du béton, une anode à courant imposé est noyée dans du béton ou du mortier, et reliée à l'armature à protéger par conduction électrique. Des électrons sont amenés par une source de courant continu, de façon à empêcher les réactions anodiques à la surface de l'armature. La seule réaction se produisant est la réduction d'oxygène par processus cathodique (voir plus haut). La corrosion est ainsi arrêtée, et sous l'action du champ électrique, les ions négatifs (ions d'hydroxyle et de chlorure) migrent en direction de l'anode, avec pour effet la diminution de la concentration de ions de chlorure près de l'armature [11].

Pour les anodes, on a fait de bonnes expériences avec des treillis en titane avec surface à activation catalytique (couches d'oxyde de platine spéciales), dont la durabilité est au moins égale à la durée d'utilisation prévisible des ouvrages en béton armé à protéger. Ce dernier point est important, car les anodes sont noyées dans des bétons ou mortiers de ciment à prise hydraulique, et ne sont donc plus accessibles. Les recouvrements doivent contenir au moins



Sous la place de la gare de Baden: Des endroits non étanches sur la face supérieure de cet ouvrage de plusieurs étages ont entraîné la pénétration d'eau chlorurée, qui a provoqué d'importants dégâts de corrosion dans les piliers photographiés. La protection cathodique a permis de réparer ces dégâts sans modification de l'état structural des piliers (pas d'enlèvement de béton).

(Photo: Kurt Haberstich, TFB)

350 kg/m<sup>3</sup> de ciment [12], et témoigner d'une résistance électrique aussi faible que possible.

Comme source de courant continu, on utilise généralement des redresseurs. La densité du courant protecteur rapportée à la surface

7 en béton est en règle générale de 10 à 20 mA/m<sup>2</sup> (tension: 2–5 V). Il ne faut pas raccorder à un redresseur plus de 500 m<sup>2</sup> de treillis anodique, ou plus de quatre zones d'alimentation séparées. La consommation d'énergie des installations est si faible que, s'il n'y a pas de prise de courant, l'alimentation peut également être assurée par des capteurs solaires.

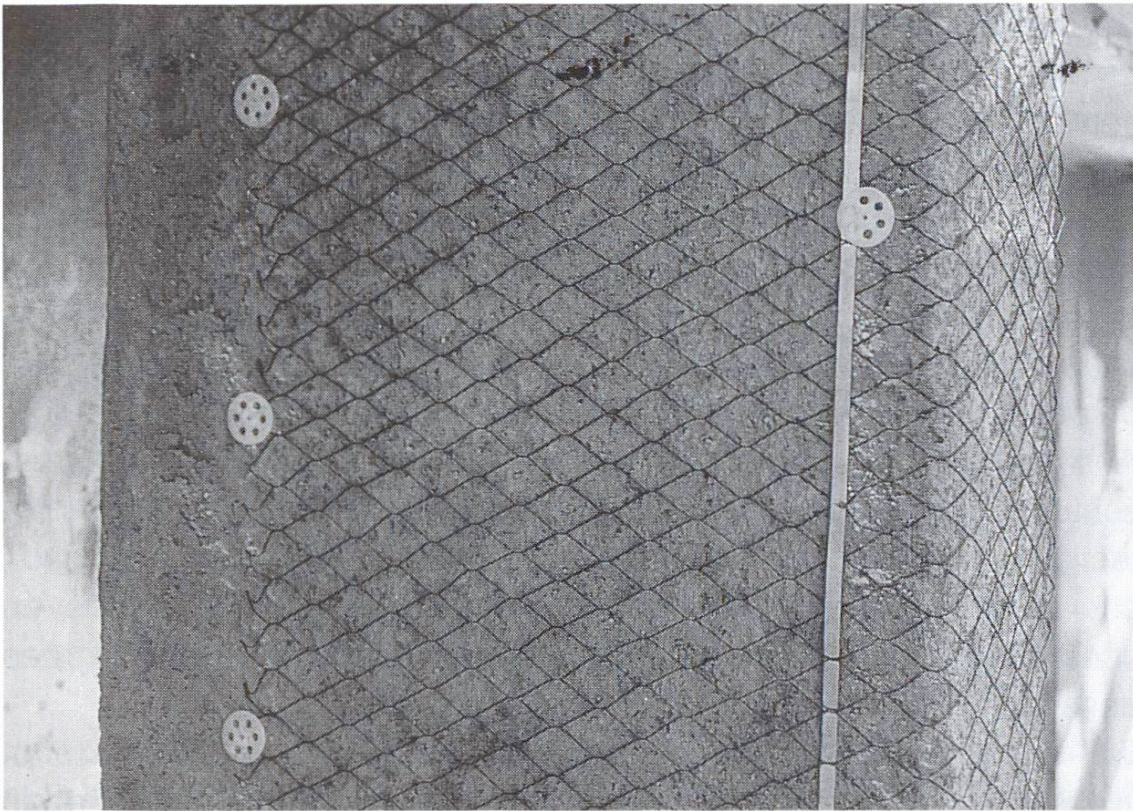
### Exécution et installation

La protection cathodique contre la corrosion n'est utilisable qu'aussi longtemps que la corrosion n'a pas provoqué d'importantes diminutions de sections dans l'armature. Il faut en outre que le béton ne présente pas de dégâts, ou n'en présente que peu. Des teneurs en sel élevées du béton ne doivent par contre pas faire renoncer à une réfection au moyen de la protection cathodique contre la corrosion, puisque c'est justement dans de tels cas que ce procédé trouve sa principale application. On peut bien sûr également l'utiliser préventivement dans les nouvelles constructions très exposées à la corrosion.

L'étude du projet, l'exécution et l'indispensable surveillance des installations de protection cathodique sont décrites en détail dans la directive mentionnée [10]. Une description détaillée des différentes opérations nous mènerait trop loin; c'est pourquoi nous nous contenterons de présenter une sélection des points les plus importants [10, 12]:

- Afin d'obtenir pour le recouvrement une contrainte d'adhérence par traction suffisante, il faut éliminer les parties de béton non adhérentes et les endroits précédemment réparés avec des mortiers synthétiques ou modifiés aux résines synthétiques, qui ne sont pas conducteurs ou en sont de mauvais. Il faut également enlever la laitance. Procédés appropriés: sablage ou jet d'eau haute pression.
- Éliminer la rouille des aciers d'armature mis à nu.
- Dénuder l'armature à deux endroits au moins par zone d'alimentation (200 à 500 m<sup>2</sup>), afin de pouvoir réaliser des prises de cathodes.
- Placer des éléments de surveillance au niveau de l'armature, et les noyer dans du mortier.
- Recouvrir la surface du béton d'une couche de mortier, de façon à ce que le recouvrement de toutes les parties métalliques soit de 10 mm d'épaisseur au moins (pas de court-circuit entre anode et armature!).
- Monter les anodes en treillis au moyen d'éléments de fixation en matière plastique, et réaliser des prises d'anodes (deux au moins par zone d'alimentation).





Les anodes en treillis sont fixées avec des éléments en matière plastique.

(Photo: Helbling Ingenieurunternehmung AG, Zurich)

- Noyer les anodes dans un recouvrement en béton ou mortier de ciment de 2 à 3 cm d'épaisseur (coulé sur les surfaces horizontales, projeté sur les surfaces verticales ou en plafond). Soumettre à un bon traitement de cure les couches de mortier ou de béton.
- Raccorder les prises d'anodes et de cathodes aux redresseurs.
- Mettre en service au plus tôt un mois après avoir noyé les anodes dans du mortier ou du béton. Procéder d'abord à une vérification minutieuse de tous les dispositifs et composants du système de protection cathodique.

Les dispositifs et l'action de la protection cathodique doivent être surveillés par des contrôles de service mensuels, ainsi que par des contrôles du fonctionnement et du système à intervalles plus longs.

### Ouvrages en béton précontraint

Si les conditions sont défavorables, une densité trop élevée du courant cathodique de protection peut entraîner dans les ouvrages en béton précontraint une fragilisation par l'hydrogène des aciers de précontrainte. Les conditions à observer pour utiliser ce procédé dans des ouvrages comprenant des éléments de précontrainte avec ou sans post-tension sont fixées dans la directive suisse pour la protection cathodique contre la corrosion [10]. Les ouvrages en béton précontraint dont les aciers, en majeure partie, adhèrent directement au béton ne doivent pas être protégés par procédé cathodique.

## 9 Conclusions

La protection cathodique contre la corrosion va certainement s'implanter solidement en Suisse aussi pour la réfection d'ouvrages en béton armé infestés par des chlorures. Dans un résumé de l'évaluation du procédé fondée sur les recherches et expériences faites en Suisse [11], on peut lire ce qui suit: «Dans l'état actuel des connaissances, et avec la directive existante, la protection cathodique contre la corrosion pour les ouvrages en béton armé infestés par des chlorures peut parfaitement compléter ou remplacer les réfections traditionnelles. Les risques de la protection cathodique sont aujourd'hui contrôlables, et ses avantages convaincants.» La durée d'utilisation d'un système de protection avec anodes de titane, installé conformément à la directive [10], est donnée comme étant de «largement plus de 30 ans».

Le prochain numéro du «Bulletin du ciment» sera consacré à la réalcalinisation et l'élimination des sels électrochimiques appliquées aux ouvrages en béton armé, un procédé apparenté à la protection cathodique contre la corrosion.

*Kurt Hermann*

## Bibliographie

- [1] *Böhni, H.*, «Korrosion und Korrosionsschutz von Stahl in Beton», Documentation SIA **D 020**, 7–13 (1988).
- [2] *Hartl, G.*, «Zur Frage des Korrosionsschutzes und von Instandsetzungsgrundsätzen im Stahlbetonbau», Beton- und Stahlbetonbau **83** [10], 265–270 (1988).
- [3] *Jungwirth, D., Grübl, P., und Windisch, A.*, «Elektrochemische Schutzverfahren für bewehrte Bauteile aus baupraktischer Sicht», Beton- und Stahlbetonbau **86** [7], 167–171 (1991) und **86** [8], 190–192 (1991).
- [4] *Nägele, E. W.*, «Metallkorrosion in der Praxis – Ursachen, Vorbeugung, Schutz», Bautenschutz + Bausanierung **11** [4], [113]–[121] (1988).
- [5] *Neisecke, J.*, «Karbonatisierung von Stahlbeton – wirklich ein Problem?», Beton-Informationen **31** [3/4], 27–31 (1991).
- [6] *Nürnberg, U.*, «Chloridkorrosion von Stahl in Beton», Betonwerk+Fertigteil-Technik **1984** [9], 601–612 und **1984** [10], 697–704.
- [7] *Schiessl, P., und Raupach, M.*, «Chloridinduzierte Korrosion von Stahl und Beton – Untersuchung mit Betonkorrosionszellen», Beton-Informationen **28** [3/4], 33–45 (1988).
- [8] *Hermann, K.*, «Dégâts du béton dus à l'agression des ions de sulfate», Bulletin du Ciment **60** [4] (1992).
- [9] *Hunkeler, F.*, «Kathodischer Schutz – Wissensstand, Einsatzmöglichkeiten, Einsatzgrenzen», Documentation SIA **D 021**, 27–42 (1988).
- [10] «Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken» (C7d), éditée par la Société suisse de protection contre la corrosion (1991).

- 10 [11] *Hunkeler, F.*, «Kathodischer Korrosionsschutz – Stand der Forschung und Erfahrung in der Schweiz», Documentation SIA **D 099**, 55–63 (1993).
- [12] *Gassner, P.*, «Kathodischer Korrosionsschutz in Bauten aus Beton», Schweizer Baublatt **1992** [43], 55–59.
- [13] *Raupach, M.*, «Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlbetonbau», Beton **42** [12], 674–676 (1992).

**Traduction française:** Liliane Béguin

---

**Rédaction**

Dr Kurt Hermann  
TFB, Lindenstrasse 10  
5103 Wildegg  
Téléphone 064 57 72 72  
Téléfax 064 53 16 27

**Le «Bulletin du Ciment»**

paraît une fois par mois  
Abonnement annuel:  
Suisse: Fr. 25.–  
Europe: Fr. 50.–  
Autres pays: Fr. 80.–

**Expédition/Abonnements**

Mme M. Winter  
Zürichsee Medien AG  
Seestrasse 86, 8712 Stäfa  
Téléphone 01 928 52 23  
Téléfax 01 928 52 00

**Editeur**

TFB, Lindenstrasse 10  
5103 Wildegg  
Téléphone 064 57 72 72

**Impression**

Zürichsee Druckereien AG  
Seestrasse 86  
8712 Stäfa

**Copyright**

TFB  
Lindenstrasse 10  
5103 Wildegg