# Remise en état d'ouvrages en béton armé (3) : les fissures : influence sur l'étanchéité et la corrosion

Autor(en): **Hermann, Kurt / Hunkeler, Fritz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **66 (1998)**

Heft 10

PDF erstellt am: **06.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-146460

**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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

Cause de la fissure: corrosion de l'armature.

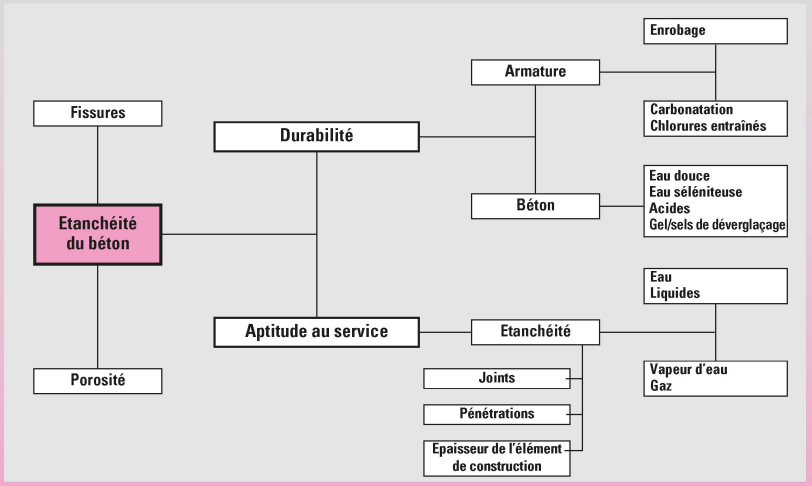
Photo: Tobias Jakob, TFB

## Remise en état d'ouvrages en béton armé (3):

# Les fissures – influence sur l'étanchéité et la corrosion

**Les fissures exercent une grande influence sur l'étanchéité des ouvrages en béton, et donc sur leur durabilité et leur aptitude au service.**

L'importance primordiale des fissures en ce qui concerne la durabilité et l'aptitude au service ressort de la *figure 1* [1]. Elle est également révélée par une étude sur la fréquence de différents genres de dégâts portant sur plus de 90 ponts, où, avec 17 %, des fissures < 0,3 mm sont au premier rang, et avec 7,5 %, des fissures de > 0,3 mm au septième rang [2, 3]. Un aperçu des causes des fissures est donné dans le *tableau 1*. Dans le présent article du «Bulletin du ciment», il est traité de l'importance des fissures en ce qui concerne l'étanchéité et la corrosion. Cet article est basé en majeure partie sur des documents pour un séminaire du TFB à Wildegg [1]. Les causes de la fissuration n'ayant généralement qu'une influence secondaire sur la durabilité et l'aptitude au service des éléments de construction en béton, il n'en est pas traité ici.

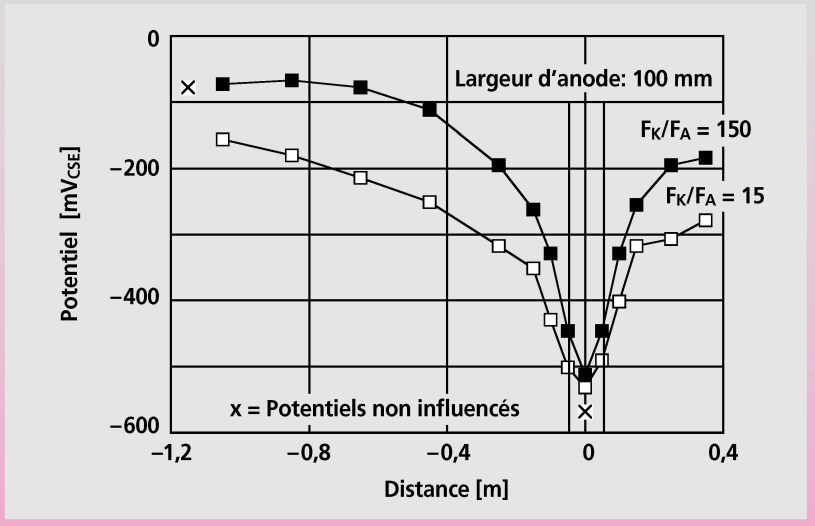



Graphique: TFB/ZSD

**Fig. 1 L'étanchéité du béton – facteur primordial pour la durabilité et l'aptitude au service [1].**

### Les fissures exercent une influence sur l'étanchéité

Les grands projets de construction de tunnels, tels qu'en Suisse le transit alpin et Swissmetro, font que l'on accorde une attention accrue aux fissures. La perméabilité des ouvrages en béton dépend de la nature, du cheminement, de la profondeur et de la largeur des fissures. Les paramètres qui importent en ce qui concerne l'étanchéité sont les suivants [5]:




Graphique: TFB/ZSD

**Fig. 2 Influence du rapport des surfaces $F_K/F_A$ sur l'étendue du champ de potentiel aux endroits fissurés dans un macro-élément artificiel [7].**

- perméabilité due à la porosité (microfissures, fissures superficielles et fissures dues à la flexion)
- perméabilité due à la fissuration (fissures traversantes)

Les fissures traversantes sont particulièrement importantes, car elles constituent les véritables points d'inétanchéité d'un élément de construction en béton. De façon très simplifiée, on peut les décrire comme des fentes à flancs parallèles lisses. Pour les écoulements de fluide sous la pression exercée de l'extérieur par un liquide, on applique ensuite la loi de Poiseuille. Le débit théorique $Q_{th}$ ainsi calculé est toutefois supérieur au débit effectif Q, car la rugosité et la géométrie anguleuse des flancs de fissures réels réduisent fortement l'écoulement. Il en est tenu compte par le coefficient de débit ξ, lequel se situe entre 0 et 1:

$$Q = \xi \, Q_{th}$$

Cette formulation simplifiée ne rend pas visible le fait qu'à la troisième puissance la largeur des fissures intervient dans les équations de Poiseuille, et est ainsi, à côté des gradients de pression, la grandeur d'influence sur le débit dominante. Des coefficients de débit calculés expérimentalement permettent de faire des évaluations sur le débit dans les ouvrages fissurés. Les coefficients de débit dépendent toutefois de nombreux facteurs, mais principalement de la largeur et des mouvements des fissures [1].

*Fissures se refermant d'elles-mêmes*

Dans des conditions favorables, les fissures exposées à une pression d'eau se referment. On compte parmi ces conditions [5]:

| Cause des fissures | Caractéristiques de la fissuration | Circonstances favorables | Mesures pour y remédier |
|---|---|---|---|
| Chaleur d'hydratation | • fissures traversantes<br>• fissures dues à la flexion | • éléments de construction «massif» | • ciment avec faible chaleur d'hydratation<br>• éviter un refroidissement rapide<br>• armature pour limiter les fissures |
| Retrait | • fissures superficielles (retrait précoce)<br>• fissures traversantes et fissures dues à la flexion (retrait dû à la dessication) | • dessication forte et précoce | • limiter la dessication (traitement de cure)<br>• éviter le béton trop gras<br>• armature pour limiter les fissures |
| Température | • fissures traversantes<br>• fissures dues à la flexion | • changement de température<br>• différence de température | • joints de dilatation<br>• armature pour limiter les fissures<br>• mise en place de précontrainte |
| Charges (directes) extérieures | • microfissures<br>• fissures dues à la flexion<br>• fissures traversantes<br>• fissures dues au cisaillement | • dépendant de l'utilisation | • limitation des fissures par<br>– faibles tensions de l'acier<br>– faible enrobage de béton<br>– petits diamètres de l'acier<br>– haut degré d'armature<br>– bonne adhérence de l'acier |

**Tab. 1 Causes des fissures dans les éléments de construction en béton (sans prise en considération de la corrosion de l'armature et du béton) [4].**

**Le fer d'armature est corrodé du côté de la fissure.** Photo: Heidi Ungricht, TFB

- des processus physiques
  - gonflement de la pâte de ciment durcie
- des processus chimiques
  - hydratation ultérieure de la pâte de ciment durcie
  - formation de carbonate de calcium
- des obstructions mécaniques par
  - des fines se trouvant dans l'eau
  - des particules de béton se détachant de la surface des fissures

Mais c'est principalement la formation de carbonate de calcium due à la réaction entre les ions calcium provenant du béton et les ions carbonate ou hydrogénocarbonate provenant de l'eau s'écoulant, qui permettent aux fissures de se refermer d'elles-mêmes.

*Concentration de sels*

Ce n'est souvent pas la pénétration d'eau elle-même qui est importante, mais les sels qui sont dissous dans l'eau et qui attaquent le béton ou l'acier. Ces sels s'accumulent dans le béton lorsque l'eau peut s'évaporer. Bien qu'il n'y ait guère d'études fondamentales à ce sujet, ces processus sont très importants en pratique. Les concentrations de sels dans les tunnels, cause de dégâts au béton et à l'armature, en sont un exemple [7].

## Corrosion de l'armature dans les fissures

Les fissures du béton conduisent par leurs flancs à une carbonatation accélérée, ce qui fait que des chlorures sont plus facilement entraînées dans le béton. De plus, dans les zones fissurées, les conditions favorisant la corrosion sont réunies (présence d'air, d'eau et d'oxygène). C'est pourquoi l'armature peut être corrodée plus rapidement dans ces zones que dans les zones non fissurées. Cela dépend de nombreux facteurs, par exemple

- largeur des fissures
- enrobage
- qualité du béton
- humidité du béton
- nature de la sollicitation (air, eau)
- substances nocives entraînées (chlorures, $CO_2$)

La corrosion à proximité de fissures est influencée par la formation de macro-éléments. La zone fissurée (surface $F_A$) constitue l'anode, et la zone non fissurée (surface $F_K$) la cathode. C'est le rapport $F_K/F_A$ qui est caractéristique pour un macro-élément; plus $F_K/F_A$ est grand, plus la corrosion est intense. Lors de mesures de potentiel [6], les fissures se manifestent par des zones en forme de bande à valeurs de potentiel fortement négatives *(figure 2)*.

## Dégâts dus à des fissures

Ce qui est fâcheux dans le béton fissuré, ce n'est pas la corrosion sur certaines des barres d'armature, mais le cheminement linéaire de cette corrosion. Un élément de construction peut ainsi être affaibli à tel point qu'il doit être remis en état.

**Cause des fissures: traitement de cure insuffisant.** Photo: Tobias Jakob, TFB

Des exemples de situations où la prudence et éventuellement des éclaircissements s'imposent sont mentionnés brièvement ci-après.

*Carbonatation*
Dans les zones fissurées, la profondeur de carbonatation a tendance à être légèrement plus élevée, et la profondeur des piqûres de corrosion est généralement plus élevée dans les fissures où de l'eau s'écoule que dans les fissures «sèches». Mais différentes études ont démontré que dans le béton carbonaté, il n'y a pas une nette corrélation entre la largeur des fissures et la réduction de section ou profondeur des piqûres des barres d'armature.

*Corrosion due aux chlorures*
Dans des éléments de construction avec même genre d'exposition, la corrélation entre concentration de chlorures et largeur de fissure peut être prouvée: plus les fissures s'élargissent, plus le profil de concentration de chlorures, et également le degré de corrosion, s'élèvent *(figure 3).*
Dans la zone des fissures, les aciers d'armature galvanisés ne sont ni suffisamment ni durablement protégés contre la corrosion. Les largeurs de fissures critiques en fonction de l'enrobage de béton, figurant dans le *tableau 2* pour un béton B 35, ont fait l'objet d'une publication [5]. Le nitrite de calcium en tant qu'inhibiteur ne fournit souvent pas non plus une protection suffisante; on constate même fréquemment des profondeurs de piqûres plus grandes que dans un béton sans inhibiteur [4].

| Exposition | Largeur de fissure critique pour enrobage de 15 mm | 25 mm | 50 mm |
|---|---|---|---|
| Atmosphère industrielle | 0,3 mm | 0,4 mm | > 0,5 mm |
| Sollicitation par le gel et les sels de déverglaçage | 0,1 mm | 0,2 mm | 0,4 mm |
| Sollicitation par l'eau de mer | 0,1 mm | 0,2 mm | > 0,5 mm |

**Tab. 2 Largeurs de fissures critiques pour armature galvanisée dans un béton B 35 [4].**

## Evaluation du risque dans la zone fissurée

Les praticiens sont constamment confrontés au problème de savoir comment évaluer les fissures en ce qui concerne le risque de corrosion. La manière de procéder est en principe à peu près la même que pour les éléments de construction non fissurés:

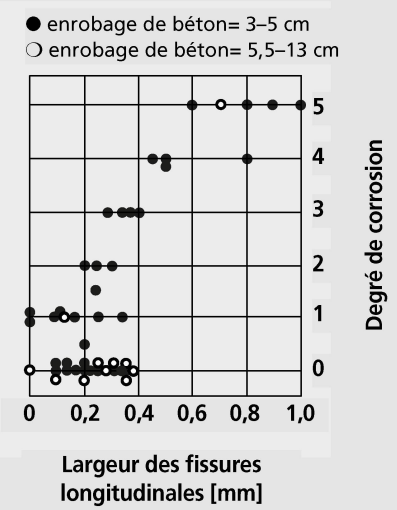
- *Examen visuel.* Il faut tenir compte de la nature, de la quantité et de la coloration des dépôts, ainsi que de l'intensité des traces de rouille. Les dépôts blanchâtres à jaunâtres sont généralement inoffensifs, alors que les dépôts d'un rouge intense sont très dangereux. La quantité d'eau s'écoulant depuis les fissures traversantes donne également des indications sur le risque.
- Il a été traité en détail des mesures de potentiel dans le précédent numéro du «Bulletin du ciment» [6].
- Sondages et prélèvement d'échantillons de l'ouvrage. Des sondages sont généralement nécessaires pour que l'état de corrosion actuel de l'armature puisse être détecté et mis en corrélation avec les autres résultats. Tout comme le prélève-

**Fissure traversante sur une route en béton ayant plus de 50 ans.**

Photo: Rolf Werner, TFB

| RD [mm] | KF [%] | KA [mm] | NT [mm] |
|---|---|---|---|
| 2–3 | > 25 | ≤ 3,0 | ≤ 3,0 |
| 1–1,5 | > 25 | ≤ 0,5 | ≤2,0 |
| 0,2–0,5 | > 25 | ≤ 0,2 | ≤ 1,5 |
| < 0,1 | > 25 | ≪ 0,1 | ≤1,0 |
| < 0,1 | > 25 | ≪ 0,1 | ≤ 0,15 |
| < 0,1 | ≤ 25 | ≪ 0,1 | ≤ 0,15 |

RD: épaisseur de la rouille
KF: surface corrodée
KA: dégradation par la corrosion
NT: profondeur des piqûres (profondeur d'attaque)




Graphique: TFB/ZSD

**Fig. 3 Influence de la largeur des fissures (fissures longitudinales au-dessus de l'armature) et de l'enrobage de béton sur la corrosion de l'armature d'un môle ayant 35 ans à l'île d'Helgoland [4].**

ment d'échantillons de l'ouvrage, ils doivent être effectués en connaissance de cause, sur la base d'examens visuels et/ou de mesures de potentiel.

## Etanchement des fissures

Pour la remise en état d'ouvrages fissurés, les injections avec des suspensions de ciment et des résines réactives ont fait leurs preuves. Il en sera traité dans le prochain numéro du «Bulletin du ciment».

*Kurt Hermann*
et *Fritz Hunkeler, TFB*

## Bibliographie


[1] **Hunkeler, F.,** «Bewertung von Rissen bei Stahlbetonbauten bzgl. Dichtigkeit und Korrosion», cours TFB 4810, Centre de formation continue du TFB (1998).

[2] **Hunkeler, F.,** «Dauerhaftigkeit und Schutz von Stahlbetonbauten», cours TFB 1005, Centre de formation continue du TFB (1995).

[3] **Ladner, M.,** «Systematische Auswertung von Schäden an Brücken», Office fédéral des routes, mandat de recherche 21/87, rapport VSS no 319 (1994).

[4] **Nürnberger, U.,** «Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen», Bauverlag GmbH, Wiesbaden et Berlin (1995).

[5] **Edvardsen, C. K.,** «Wasserdurchlässigkeit und Selbstheilung von Trennrissen in Beton», Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft Nr. 455 (1996).

[6] **Hermann, K.,** et **Hunkeler, F.,** «Remise en état d'ouvrages en béton armé (2): mesures de potentiel», Bulletin du ciment **66** [9], 3–7 (1998).

[7] **Hunkeler, F.,** «Grundlagen der Korrosion und der Potentialmessung bei Stahlbetonbauten», rapport VSS no 510 (1994).