Zeitschrift: Bulletin du ciment

Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)

Band: 46-47 (1978-1979)

Heft: 17

Artikel: Le danger de corrosion des fers dans le béton armé

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-145961

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: 17.07.2025

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

BULLETIN DU CIMENT

MAI 1979 47e ANNEE NUMERO 17

Le danger de corrosion des fers dans le béton armé

Le processus chimique de la corrosion du fer. Condition pour que la rouille se produise, d'une manière générale, et plus particulièrement la rouille de l'armature du béton. Carbonatation. Danger accru en présence de fissures.

1. Phénomènes entraînant la rouille

En présence d'humidité à la surface du fer, la matière peut y être sujette à des transformations:

a) $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2\,e^{-}$

Cette formule chimique exprime le phénomène initial de la formation de rouille. Les atomes de fer Fe qui constituent le fer métallique libèrent chacun deux électrons e^{-} et se transforment ainsi en ions Fe^{++} chargés positivement et solubles dans l'eau.
Simultanément une contre-réaction se produit en d'autres points de la surface du fer, à la condition que l'eau qui y est présente contienne de l'oxygène dissout:

b) $4\,e^{-} + O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 4\,(OH)^{-}$

En se combinant, une molécule d'oxygène et deux molécules d'eau arrachent 4 électrons à la surface du fer métallique et forment 4 ions d'hydroxide chargés négativement.

c) $Fe^{++} + 2\,(OH)^{-} \rightarrow Fe\,(OH)_2$

Dans la phase aqueuse on a maintenant des ions de fer et des ions d'hydroxide qui se combinent en hydroxide de fer. Après d'autres transformations du même genre à partir de $Fe(OH)_2$, on aboutit finalement à l'oxide de fer Fe_2O_3, couramment appelé rouille.

2 Sans ses étapes intermédiaires, la réaction simplifiée peut être représentée par la formule:

d) $4\ Fe + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Fe_2O_3$

Or le volume de Fe_2O_3 est plus grand que celui du fer métallique dont il est issu, raison pour laquelle la formation de rouille engendre une force d'expansion.

D'après ce qui précède, **pour que la rouille puisse se former,** il faut que les conditions suivantes soient remplies:

1. Contact du fer avec de l'eau, même seulement un peu d'eau de condensation en certains points.
2. Présence d'oxygène.

2. Effet de protection par une forte réaction alcaline

Si l'eau en contact avec le fer contient préalablement déjà de nombreux ions $(OH)^-$, alors elle ne peut pas en absorber davantage comme le voudrait la formule b). Cela empêche donc la formation de rouille.
La prise et le durcissement du ciment portland entraînent la formation d'une forte proportion (25 à 30 %) d'hydroxide de calcium, $Ca(OH)_2$, sous forme de fins cristaux répartis dans la pâte de ciment. $Ca(OH)_2$ est peu soluble dans l'eau, en sorte que 0,1 % seulement de l'hydroxide de calcium du béton est dissout dans l'eau capillaire de la pâte de ciment, sous forme de ions Ca^{++} et $(OH)^-$, les derniers ayant la propriété importante d'empêcher la formation de rouille. Ce qu'on appelle la «réaction alcaline» est due à un excédent de ions $(OH)^-$.

Pour que l'armature du béton soit protégée contre la rouille, il faut que les conditions suivantes soient remplies:

1. Utilisation de ciment portland
2. Forte proportion d'hydroxide de calcium dans la pâte de ciment.

3. Suppression de la protection par l'action de l'acide carbonique

L'acide carbonique est un gaz. Dans 1 m^3 d'air, il y a env. 0,8 g CO_2
L'acide carbonique réagit avec l'hydroxide de calcium en y neutralisant les ions $(OH)^-$ qui disparaissent.

$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Cette réaction est appelée «carbonatation». Elle supprime l'effet de protection contre la rouille du fer. Le carbonate de calcium qui

en résulte est la même substance que le calcaire. Comme elle n'est pas soluble dans l'eau, elle se dépose à l'endroit où elle se forme et remplit progressivement les pores.

Pour que la carbonatation se produise, il faut que les conditions suivantes soient remplies:

1. Pénétration de CO_2 jusqu'à l'endroit de la réaction.
2. Présence d'eau, ne serait-ce qu'en très petite quantité.

4. Progression de la carbonatation, profondeur de carbonatation

La corrosion de l'armature commence quand la carbonatation a progressé dans la pâte de ciment jusqu'aux fers, c.-à-d. quand la profondeur de carbonatation est égale à la couverture de béton des fers. Ce qui est important, c'est donc la progression de la carbonatation dans le béton en fonction du temps.
Selon les lois de la diffusion (CO_2 doit diffuser dans le béton), la profondeur de carbonatation x est proportionnelle à la racine du temps,

$$x = K \cdot \sqrt{t}$$

La constante K tient compte de la capacité de diffusion du béton et de la pente de la concentration. La progression de la carbonatation devient donc toujours plus lente.
Le paramètre déterminant dans notre cas, c'est la résistance à la diffusion du CO_2 dans le béton. Celle-ci augmente avec la profondeur de carbonatation et provoque un freinage de la progression encore plus fort que ne l'indique la loi de la $\sqrt{t}$. Plus le front de carbonatation est profond, plus son alimentation en CO_2 devient faible, alors que celle de $Ca(OH)_2$ provenant de l'intérieur ne diminue pas. Il en résulte que la profondeur de carbonatation tend vers une limite, ce qui assure une protection durable des fers contre la rouille, si certaines conditions sont remplies.

5. Facteurs influençant la profondeur maximum de carbonatation

La profondeur finale de carbonatation dépend en premier lieu de la constante de diffusion du CO_2 dans le béton qui dépend elle-même de la qualité du béton (porosité, résistance) et de la teneur en eau capillaire. La limite atteinte par la carbonatation est donc d'autant plus profonde que la surface du béton est plus sèche et que la résistance du béton est plus faible (voir fig. 1).

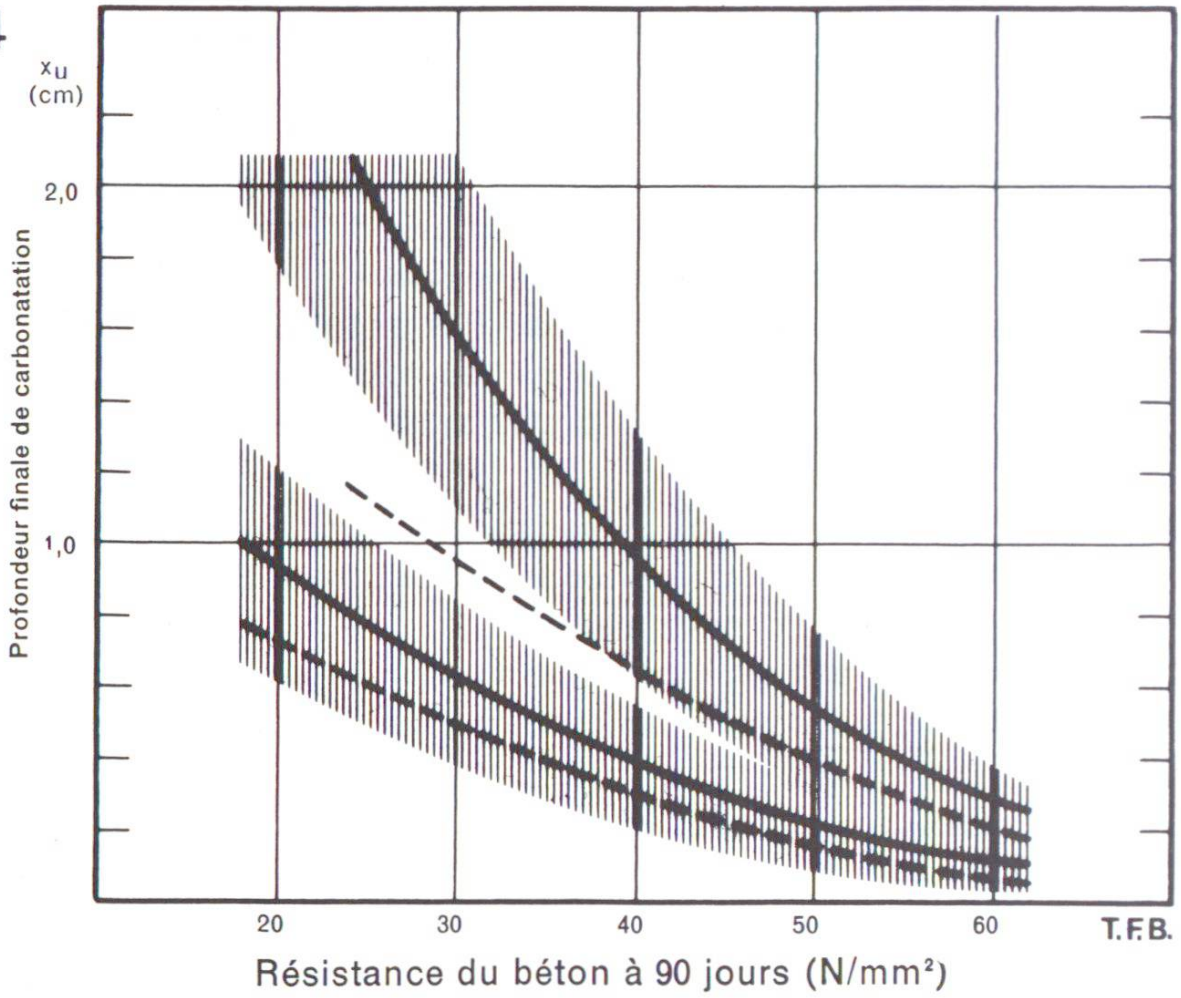

Fig. 1 Profondeur finale moyenne de carbonatation x_u, en fonction de la résistance du béton. En haut: Béton en plein air sous abris. En bas: Béton en plein air non protégé. Hachuré: Domaine de dispersion de 84 % des cas. En traitillé: Valeurs moyennes mesurées après 7 ans. (Selon Schiessl)

6. Profondeur de carbonatation dans un béton fissuré

Si le béton est fissuré, il s'y établit aussi une profondeur finale de carbonatation qui est naturellement plus grande que dans un béton intact. Elle dépend en premier lieu de la résistance à la diffusion du CO_2 dans la fissure qui dépend elle-même de l'ouverture de la fissure. Dans ce cas, la qualité du béton et sa teneur en eau ne jouent plus qu'un rôle mineur (voir fig. 3).

7. Résumé et remarques complémentaires

1. La profondeur finale de carbonatation dans un béton intact dépend de sa teneur moyenne en humidité et de sa qualité. Dans un béton fissuré, elle dépend de l'ouverture des fissures. On constate que dans un béton ayant la qualité qu'on sait aujourd'hui lui conférer et pour une couverture des fers conforme aux normes en vigueur il est possible d'obtenir une protection contre la corrosion de l'armature.

   Le béton étant un matériau hétérogène, il subsiste une certaine probabilité d'attaques locales de rouille qui doivent cependant

rester très rares et pourraient faire l'objet de réparations ponctuelles aisées si elles offraient quelque danger. La figure 1 donne une idée de cette probabilité.

2. Dans un béton fissuré, la probabilité d'une attaque ponctuelle de corrosion est de toute façon plus grande. Il est important de savoir que le danger devient sérieux si l'ouverture des fissures est supérieure à 0,1 mm. Les fissures peuvent être colmatées par des poussières ou par du carbonate de calcium libéré, ce qui peut réduire la profondeur de carbonatation de 30 à 50 %.
3. La profondeur maximale de carbonatation n'est atteinte qu'après de nombreuses années. Pour un béton de qualité CP 300 à 400, le 90 % de la valeur finale est atteint:
   - après env. 20 ans dans un béton en plein air sous abris
   - après env. 10 ans dans un béton en plein air non protégé.

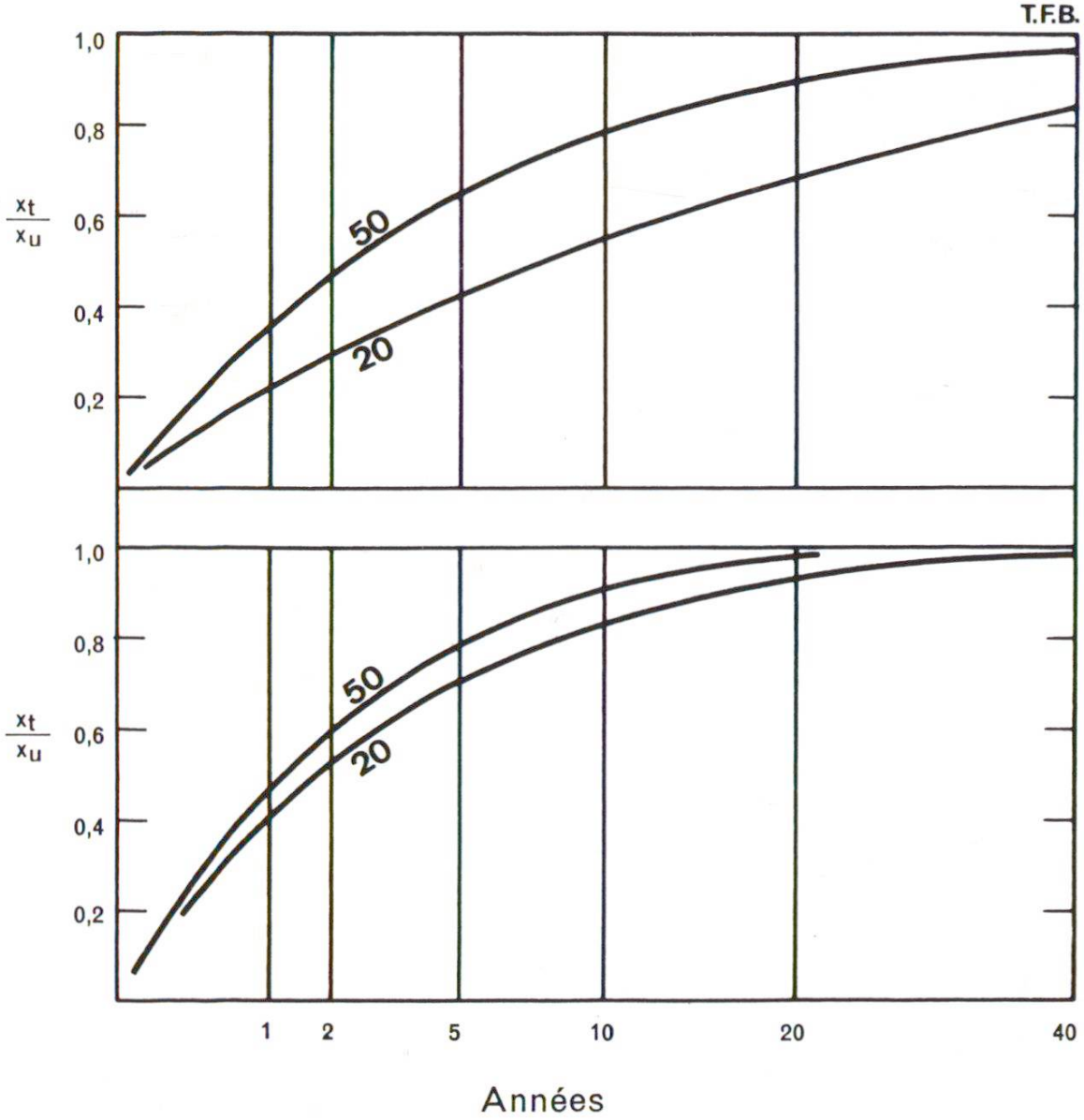

Fig. 2 Augmentation de la profondeur de carbonatation x_t avec le temps pour des bétons de résistance 20 et 50 N/mm². x_u = profondeur finale de carbonatation. En haut: Béton en plein air sous abris. En bas: Béton en plein air non protégé. (Selon Schiessl)

4. La teneur en humidité du béton a deux influences contradictoires sur le danger de corrosion de l'armature. Si cette teneur est élevée, d'une part elle freine la pénétration de CO_2 et de O_2, diminuant ainsi la profondeur de carbonatation, mais d'autre part, elle hâte le processus de formation de rouille.

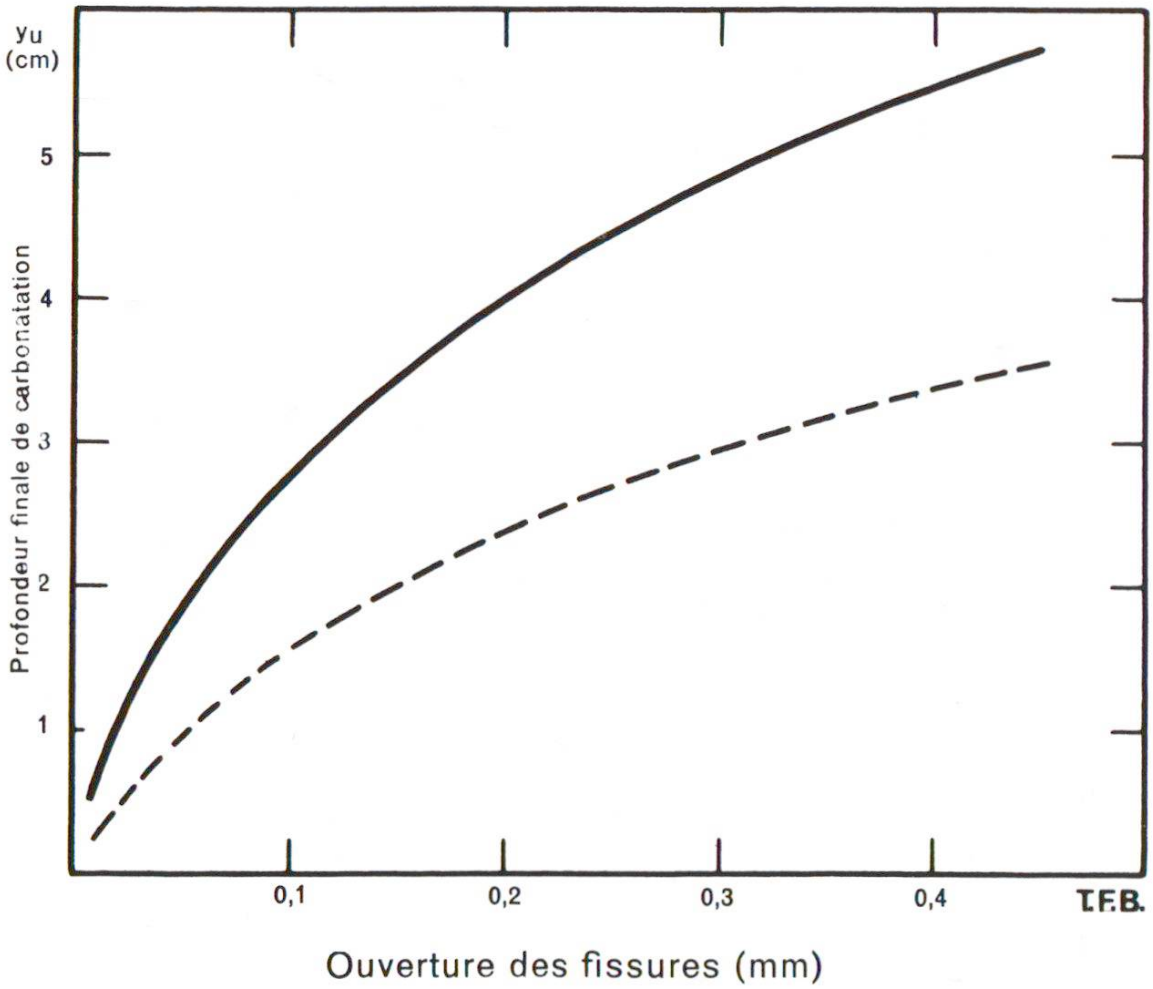

Fig. 3 Profondeur finale de carbonatation y_u dans un béton fissuré, en fonction de l'ouverture des fissures. Valeurs calculées pour un béton de résistance 30 à 40 N/mm². Pour une résistance plus élevée, y_u devient plus grand et augmente p. ex. de 0,6 cm quand la résistance passe à 60 N/mm². En traitillé: Valeurs de y_u dans un béton dont les fissures sont fortement colmatées par des poussières et du carbonate. (Selon Schiessl)

Bibliographie

Peter Schiessl, L'ouverture admissible des fissures et la couverture nécessaire de béton dans la construction en béton armé, en considérant spécialement la carbonatation. Cahier No 255, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 1976

Kyösti Tuutti, Fissures et corrosion. Cahier 6: 78, CBI – Institut suédois du ciment et du béton. Stockholm, 1978.

TFB

Pour tous autres renseignements s'adresser au
SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES
DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT WILDEGG/SUISSE
5103 Wildegg Case postale Téléphone (064) 53 17 71