

Zeitschrift: Bulletin du ciment
Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)
Band: 56-57 (1988-1989)
Heft: 8

Artikel: Détermination rapide de la carbonatation du béton
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-146191>

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: 14.03.2025

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

BULLETIN DU CIMENT

AOÛT 1988

56E ANNÉE

NUMÉRO 8

Détermination rapide de la carbonatation du béton

Méthode simple pour l'évaluation de la qualité des bétons et des procédés d'assainissement. Durée normale de l'essai: 36 jours

La carbonatation du béton est essentiellement une réaction chimique entre l'hydrate de calcium de la pâte de ciment et l'anhydride carbonique de l'air qui pénètre par diffusion dans le béton. Cette réaction se poursuit à partir de la surface et neutralise le béton jusqu'à une profondeur de plusieurs millimètres au bout d'un certain nombre d'années. Les conséquences sur la durabilité du béton armé sont bien connues et font notamment l'objet du Bulletin du Ciment No 13/87 [1]. Encore faudrait-il en tenir compte au niveau des projets déjà!

La carbonatation dépend des *paramètres* suivants:

- Béton: porosité (facteur E/C), cure du béton (précautions et durée), degré d'hydratation.
- Environnement: humidité relative, teneur en anhydride carbonique, température.

En soi, la réaction chimique est relativement rapide. La *vitesse* de carbonatation du béton dépend en fait de la facilité de pénétration de l'air et se ramène au problème de la diffusion d'un gaz dans un solide poreux [2]. Ce phénomène obéit approximativement à une loi où intervient la racine carrée du temps [3].

$$y = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{Equation I})$$

y = profondeur de carbonatation (en mm)
 k = coefficient de carbonatation (en $\text{mm} \cdot \text{an}^{-0,5}$)
 t = temps (âge du béton en années)

Le *coefficient de carbonatation* tient compte des paramètres mentionnés plus haut. C'est une constante du matériau, caractéristique pour un béton donné. Elle dépend en outre des conditions du milieu dans lequel se trouvera l'ouvrage au cours du temps. Pour les ouvrages existants, il est facile de mesurer y . L'âge de la construction t est en principe connu. L'équation I permet de calculer k et de prévoir avec une probabilité raisonnable la durabilité, en l'occurrence l'évolution de la carbonatation dans l'environnement considéré.

Toute une série de questions peuvent cependant se poser quant à la qualité de l'ouvrage:

1. Un béton âgé de quelques semaines ne présente pas une profondeur de carbonatation mesurable. On ne peut donc pas prévoir son comportement suivant l'équation I. Comment évoluera-t-il au cours des années?
2. Dans le cas d'un chantier important, ou en préfabrication, on procède à des essais préliminaires. Est-il possible d'améliorer les formulations des bétons en tenant compte de la carbonatation?
3. L'assainissement de surfaces de béton peut nécessiter l'application d'enduits de protection qui ralentissent la carbonatation («barrières anticarbonatation»). Quelle est leur efficacité contre la pénétration du CO_2 ?

La présente méthode permet en quelques semaines de mesurer une carbonatation naturelle correspondante de très longue durée [4].

Données physiques de base

On a admis que l'équation I était également valable dans les conditions de l'essai. Il faut considérer le coefficient de carbonatation k dans sa forme développée:

$$k = \sqrt{2D \cdot \frac{c_1}{c_2}}$$

où D = constante de diffusion du CO_2 pour le béton considéré (en mm^2/s)

c_1 = teneur en CO_2 de l'atmosphère (g/m^3)

3

c_2 = quantité de CO_2 nécessaire à la carbonatation totale du béton considéré (g/m^3)

On aura donc
$$y = \sqrt{2 D \cdot \frac{c_1}{c_2} \cdot t} \quad (\text{Equation II})$$

Les essais sont effectués sur des échantillons prélevés sur l'ouvrage, ou sur des bétons de laboratoire. On compare les résultats de l'essai avec les valeurs actuelles mesurées sur le même béton. Dans ce cas, les valeurs D et c_2 restent inchangées et on peut écrire

$$Y = \sqrt{2 D \cdot \frac{C_1}{c_2} \cdot T}$$

où Y = profondeur de carbonatation obtenue lors de l'essai de laboratoire

C_1 = concentration en CO_2 dans les conditions de l'essai

T = temps (durée de l'essai)

Pour atteindre dans l'essai de laboratoire la même profondeur de carbonatation que sur l'ouvrage dans sa réalité, il faut que $Y = y$, ce qui conduit à:

$$c_1 \cdot t = C_1 \cdot T = \text{constante} \quad (\text{Equation III})$$

L'équation III indique l'échelle du modèle de laboratoire par rapport à la réalité: La durée de l'essai en laboratoire diminue en raison inverse de l'accroissement de la concentration en CO_2 .

Equipement nécessaire

On utilise un récipient ordinaire en PVC d'un volume de 60 l environ, muni d'un couvercle fermant hermétiquement. L'anhydride carbonique est introduit à travers un flacon-laveur. Un même dispositif est prévu à la sortie. Les deux flacons contiennent de l'éthylène-glycol (pas de perte par évaporation).

Au fond du récipient, on place une cuvette plate contenant une solution saturée de sulfate d'ammonium afin d'obtenir une humidité relative constante. Un petit ventilateur fonctionnant 15 minutes toutes les heures assure l'homogénéité du milieu.

Une grille est disposée à quelques centimètres au-dessus de la cuvette. Les échantillons de béton sont placés sur cette grille.

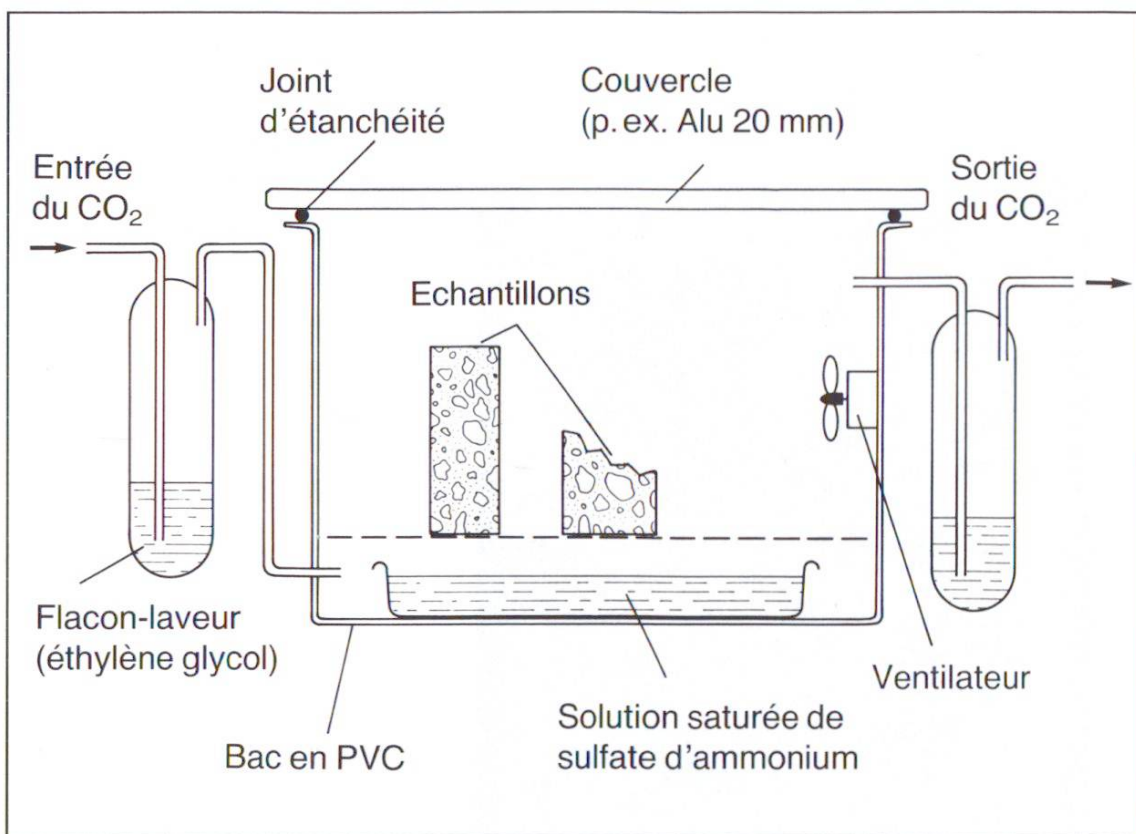


Fig. 1 Appareillage

Mode opératoire

Programme d'essais: Avant tout il faut définir le programme en fonction du but recherché et de la durée de l'essai.

Echantillons: Ils ne sont en principe pas limités ni dans leur dimension, ni dans leur forme. En général, on prélèvera sur les ouvrages des carottes de 50 mm de diamètre et de 100 mm de longueur. La surface cylindrique sera rendue imperméable aux gaz (enduire avec de la paraffine chauffée à 60 °C). La pénétration du CO₂ se fera donc exclusivement par les faces (surface et fond) dans un tel cas. On peut naturellement choisir toutes les possibilités imaginables en fonction de la forme et de la nature de l'échantillon dont on veut étudier la carbonatation.

Prélèvement des échantillons: Les carottes sont prélevées comme d'habitude. Le lieu, la date, l'âge du béton et un numéro d'ordre sont des indications suffisantes. Le nombre des carottes est défini dans le programme d'essais. Si le béton montre déjà une certaine carbonatation, elle sera mesurée avant le début de l'essai et on en tiendra compte dans l'interprétation des résultats. En règle générale, on conservera toujours des échantillons de référence.

Environnement: Dans l'essai de laboratoire, l'atmosphère est remplacée par l'anhydride carbonique pur avec une humidité relative de 75%, à température ordinaire.

5 L'air pur a en moyenne une teneur en anhydride carbonique de 0,033% vol. En opérant dans le CO₂ pur on a le rapport

$$C_1/c_1 = 3000 \quad (\text{suivant l'équation III})$$

L'air pollué a une teneur en CO₂ plus élevée. On peut en tenir compte dans la valeur C₁/c₁.

La vitesse de carbonatation dépend beaucoup de l'humidité. Elle est maximale entre 40% et 80% d'humidité relative. C'est pourquoi elle est fixée et maintenue à 75% pendant la durée de l'essai.

Durée de l'essai: La durée T de l'essai est de 36 jours (= 0,1 année). Suivant l'équation III, cette durée correspond à

$$t = \frac{C_1}{c_1} \cdot T = 3000 \cdot 0,1 = 300 \text{ années}$$

La méthode accélérée se base sur le fait qu'en élevant la concentration du CO₂ on peut simuler en laboratoire un laps de temps qui correspond aux nécessités pratiques (p.ex. la durée de vie d'une construction). Bien entendu, il est toujours possible de programmer des temps intermédiaires.

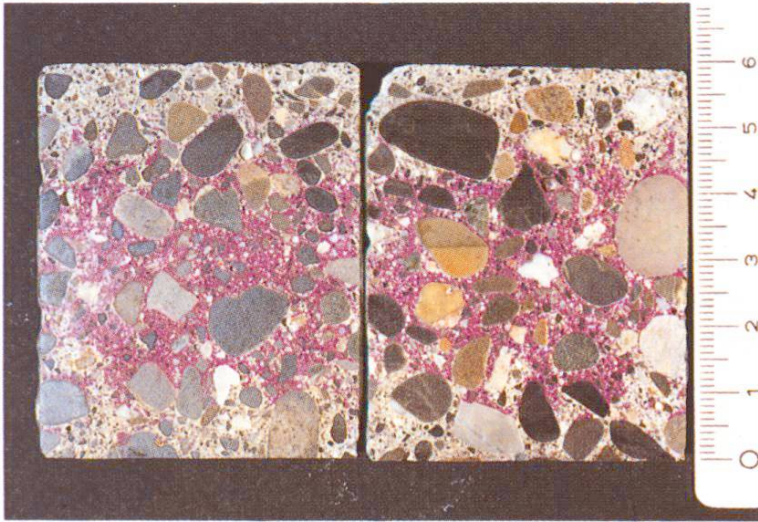
Mesure de la profondeur de carbonatation: A la fin de l'essai, les échantillons sont tronçonnés au disque diamanté et séchés immédiatement à l'air comprimé. Le tronçonnage à sec n'est pas indispensable. La profondeur de carbonatation Y est mesurée en utilisant le test bien connu à la phénolphtaléine.

Interprétation des résultats

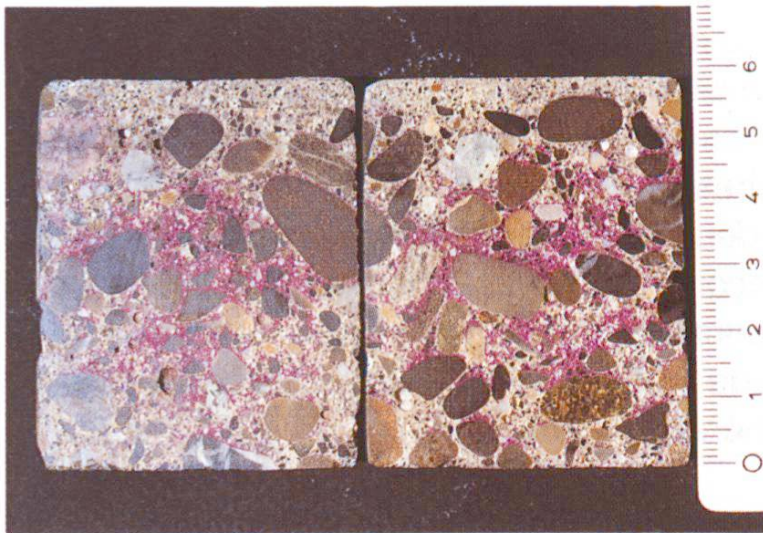
Cette méthode rapide a essentiellement un but pratique. Il est possible d'estimer si le comportement d'un béton sera bon ou mauvais, dans un environnement donné. Il est évident qu'une bonne compacité n'est pas seulement liée à des résistances élevées, mais qu'elle correspond aussi à une moindre carbonatation dans le temps. La meilleure prévention consiste à maintenir un facteur E/C le plus bas possible et à soigner la cure du béton. L'exemple 1 montre trois échantillons avec des rapports E/C = 0,50 à 0,60 qui ont été soumis à l'essai. Alors que la profondeur de carbonatation Y est de 12,5 mm seulement pour la valeur E/C = 0,50, elle est de plus de 30 mm pour la valeur E/C = 0,60.

La méthode permet également de vérifier l'efficacité d'un système de protection anticarbonatation. On compare la profondeur de carbonatation atteinte avec et sans couche de protection. L'exemple 2

Exemple 1 Influence du rapport E/C sur la carbonatation.
Béton PC 350, 0–16 mm.



E/C = 0,50
Y = 12,5 mm
K = 0,72 mm · a^{-0,5}



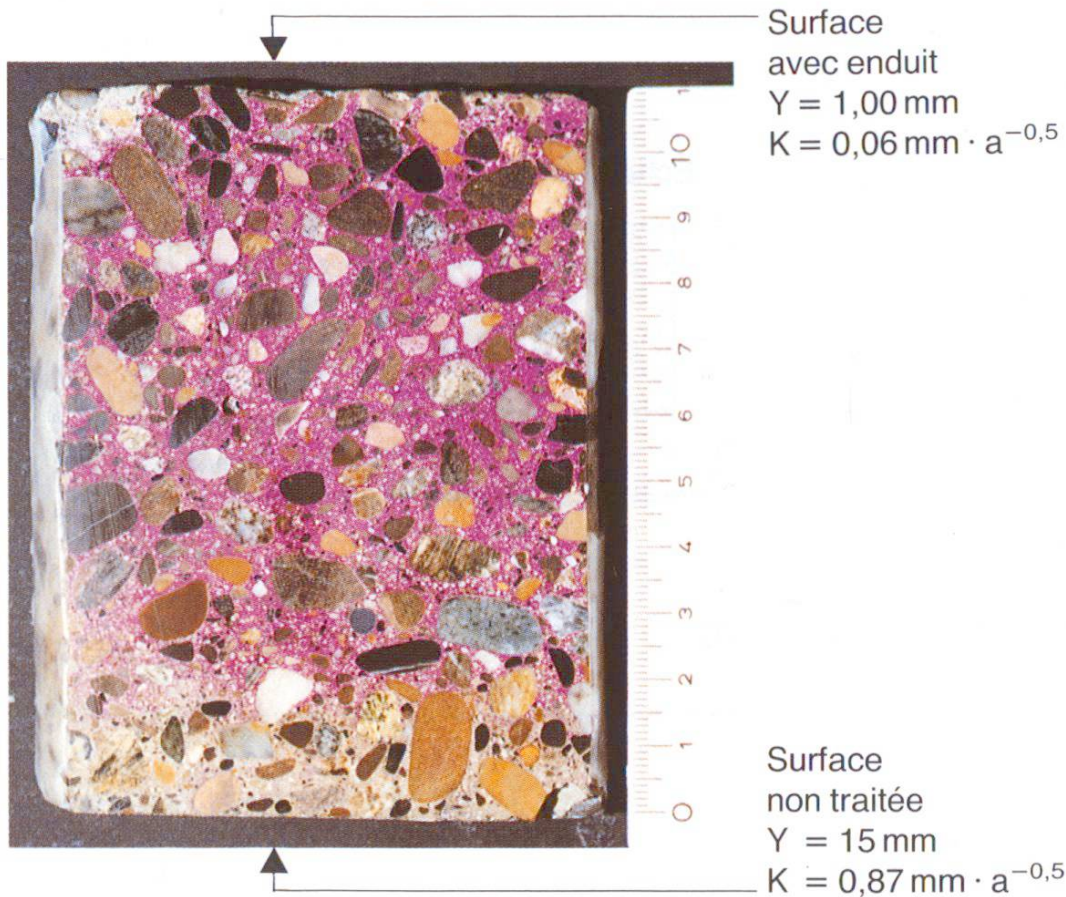
E/C = 0,55
Y = 17,0 mm
K = 0,98 mm · a^{-0,5}



E/C = 0,60
Y > 30 mm
K > 1,73 mm · a^{-0,5}

7

Exemple 2 Influence d'un enduit anticarbonatation appliqué sur un béton. Béton PC 325, 0-16 mm. E/C = 0,55



montre un échantillon où la carbonatation est pratiquement stoppée par un enduit de protection. Il est ainsi également possible de comparer entre eux différents systèmes d'assainissement.

Cette méthode appréhende un tel système dans son ensemble: le béton de fond et la couche de protection sont mesurés simultanément. Si le béton est bon, tous les systèmes donneront un bon résultat. Les différences significatives sont le fait des mauvais bétons, qui sont justement ceux qui nécessitent des opérations d'assainissement.

Les résultats obtenus, en particulier la valeur du coefficient de carbonatation, ne peuvent pas sans autre être utilisés pour calculer le comportement réel du cas considéré. Il faut encore tenir compte des points suivants:

- Le degré d'hydratation ne change pratiquement pas pendant la courte durée de l'essai. Dans la réalité, il augmente avec le temps et contribue à ralentir la carbonatation.
- Une surface de béton est exposée à des variations de la teneur en CO_2 et de l'humidité relative de l'air. Le coefficient de carbonata-

8 tion k (équation I) tient compte de ces conditions. Dans les conditions du laboratoire, on a

$$K = \frac{Y}{\sqrt{t}} \quad (\text{Equation IV})$$

où K = coefficient de carbonation de l'échantillon mesuré dans l'essai (en mm · année^{-0,5})

et pour 100 % de CO₂ et 0,1 année on a

$$\sqrt{t} = \sqrt{\frac{C_1}{c_1} \cdot T}, \text{ par ex. } \sqrt{3000 \cdot 0,1} = 17,3 \text{ années}^{0,5}$$

La valeur de K doit être considérée comme un ordre de grandeur. Du fait des variations climatiques, elle ne doit pas être utilisée telle quelle dans l'équation I pour calculer le temps réel avec exactitude.

- Les enduits de protection, et donc les barrières anticarbonatation, sont sujets au vieillissement et perdent progressivement de leur efficacité. Le test ne prend pas cet élément en compte.

Cette méthode rapide a été élaborée par le TFB dans le but de faciliter le processus de décision dans les cas concrets où intervient la carbonatation.

Auteur: Dr A. Piguet, TFB Vernier; **Rédacteur:** B. Meyer.

Littérature

- [1] Betonkarbonatisierung und Dauerhaftigkeit. Cementbulletin Nr. 13 (1987).
- [2] Klopfer, H.: «Die Carbonatisation von Sichtbeton und ihre Bekämpfung». Bautenschutz und Bausanierung, Heft 3, S. 86–97 (1978).
- [3] Weber, H.: «Berechnung des Carbonatisierungsfortschritts und der damit verbundenen Lebenserwartung von Stahlbetonteilen». In: Weber H. (Hrsg.): Fassadenschutz und Bausanierung. 2. Aufl. Kontakt und Studium, Bd. 40. Grafenau: Expert Verlag (1983).
- [4] Brianza, M. und Piguet, A.: «Praxisbezogenes Schnellverfahren zur Beurteilung der Einwirkung von CO₂ auf zementgebundene Baustoffe». Esslingen: 2. Internationales Kolloquium «Werkstoffwissenschaften und Bausanierung», S. 651–657 (1986).