

Zeitschrift: Bulletin du ciment
Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)
Band: 54-55 (1986-1987)
Heft: 13

Artikel: La carbonatation du béton et sa durabilité
Autor: B.M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-146151>

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: 01.04.2025

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

BULLETIN DU CIMENT

JANVIER 1987

55e ANNÉE

NUMÉRO 13

La carbonatation du béton et sa durabilité

La carbonatation. Influences sur les constructions en béton et en béton armé. Nature des dégâts. Mesures préventives dans les nouvelles constructions.

Depuis quelques années, on constate une augmentation des dégâts des surfaces de béton qui compromettent la durabilité des constructions. Il ne s'agit pas de dégâts pouvant mettre en danger des vies humaines, mais les frais de réparation qu'ils entraînent sont bien supérieurs à ce qu'auraient coûté, lors de la construction, les mesures propres à les éviter. La cause de ces dégâts est souvent imputable à la carbonatation du béton. Bien que ce phénomène soit maintenant connu un peu partout, le TFB reçoit encore à ce sujet des demandes d'explication auxquelles les considérations qui suivent permettront de répondre.

Qu'est-ce que la carbonatation?

C'est un phénomène chimique qui se produit à la surface du béton et qui se poursuit pendant des années. Au cours de cette réaction, hydrate de chaux et acide carbonique se combinent pour former du calcaire en libérant de l'eau. L'hydrate de chaux ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) provient de la pâte de ciment durcie où il se trouve en solution dans les pores. Il réagit avec l'acide carbonique de l'air (CO_2 à raison de 0,03% en vol.) pour former le calcaire (CaCO_3) insoluble qui se dépose dans les pores. L'eau (H_2O) libérée par cette réaction dissout à nouveau de l'hydrate de chaux de la pâte de ciment, en sorte que la réaction avec l'acide carbonique de l'air peut continuer.

2

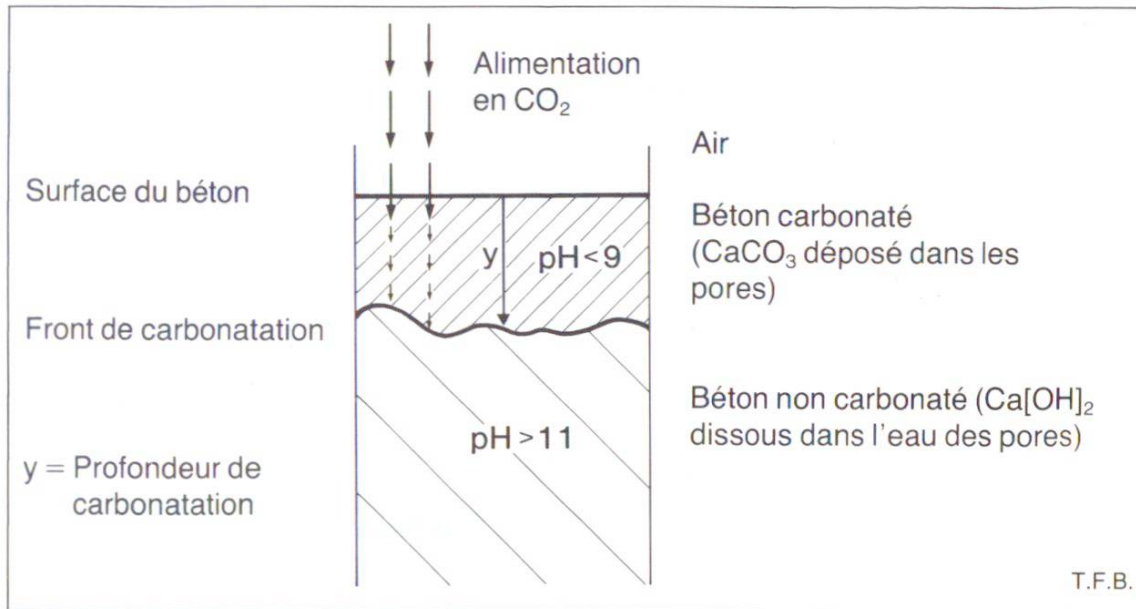


Fig. 1a Le CO_2 de l'air pénètre par les pores de la pâte de ciment jusqu'au front de carbonatation. Il s'y forme de la calcite (carbonate de chaux) qui remplit partiellement les pores. L'hydrate de chaux est progressivement dissous en sorte que le front de carbonatation se déplace vers l'intérieur du béton.

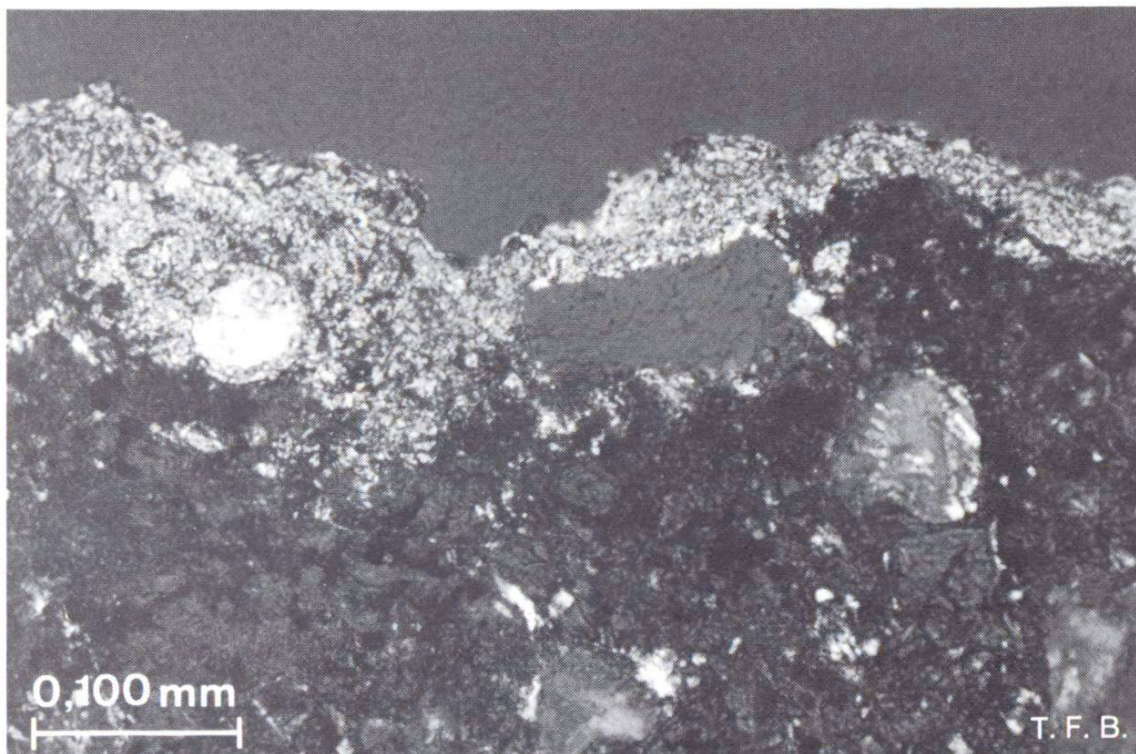


Fig. 1b Début de carbonatation à la surface d'un béton (vu au microscope). La couche de calcite a une épaisseur de 50 à 150 μm . A la lumière polarisée elle apparaît claire, alors que la pâte de ciment alcaline reste sombre.

La carbonatation dépend donc premièrement de l'état de la pâte de ciment durcie. La disposition de ses pores et la teneur en eau sont déterminantes car toutes deux influencent la pénétration de l'air.

La fine couche la plus extérieure du béton se carbonate très vite alors que l'intérieur reste inchangé. Ces deux zones sont bien délimitées. On parle du «front de carbonatation», une surface irrégul-

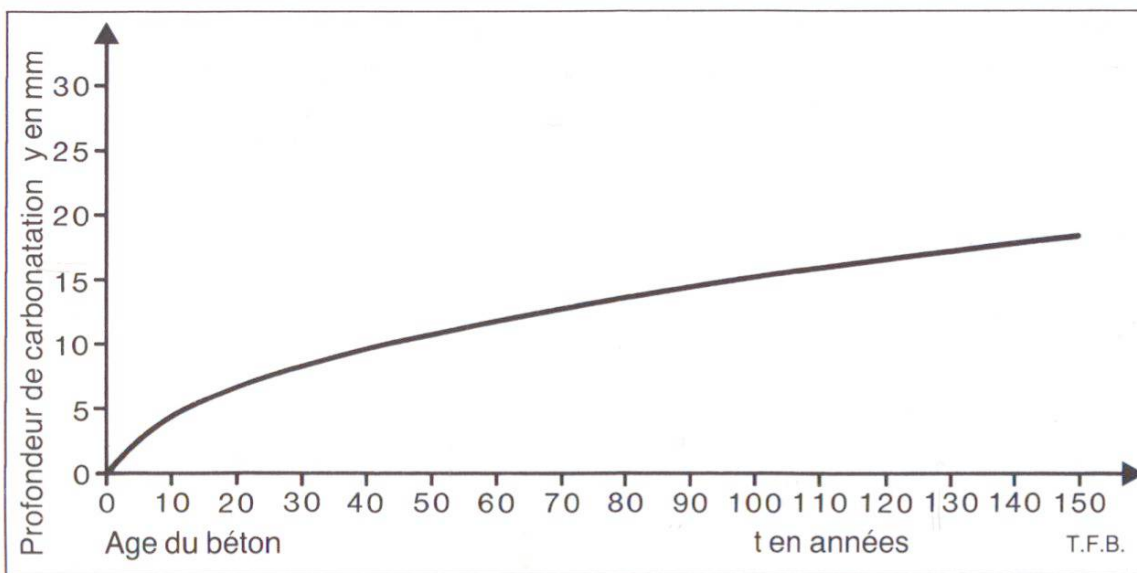


Fig. 2 Exemple de l'évolution de la profondeur de carbonatation avec le temps. Au cours de la durée d'utilisation, la carbonatation n'atteindra pas l'armature si sa couverture de béton est suffisante ($d > 3$ cm).

lière séparant le béton carbonaté de celui qui ne l'est pas (Fig. 1a et 1b).

Une des notions importantes est celle de «profondeur de carbonatation», à savoir la distance «y» entre la surface du béton et le front de carbonatation. Elle varie d'un point à l'autre et augmente avec le temps [1]. Pour déterminer la profondeur de carbonatation, on utilise le pH de l'eau des pores qui peut être mesuré au moyen de révélateurs chimiques. L'eau neutre a un pH de 7. Au moment du malaxage du béton, l'eau de gâchage est fortement alcaline avec un pH pouvant aller jusqu'à 12. Le béton carbonaté, avec un pH d'environ 9, n'est pas encore tout à fait neutre. Comme révélateur, on peut utiliser la phénolphthaléine dont le domaine d'indication s'étend du pH 8 (blanc) au pH 10 (rouge). Le point où la couleur passe du blanc au rouge donne la position du front de carbonatation. Si l'on étudie maintenant la pénétration du front de carbonatation, on constate qu'elle suit à peu près la relation suivante

$$y = k \cdot \sqrt{t}$$

y = profondeur de carbonatation (en mm)

k = coefficient de carbonatation (en $\text{mm}/\text{an}^{-0,5}$)

t = temps (âge du béton en années)

Le coefficient de carbonatation qui varie d'un béton à l'autre est une des caractéristiques de la pâte de ciment; si l'on connaît l'âge du béton et la profondeur de carbonatation, il peut être déterminé par la relation ci-dessus. Il est alors possible de prévoir l'évolution de la carbonatation. La formule montre que la profondeur de carbonata-

4 tion augmente rapidement au début et que, compte tenu de la durée d'utilisation de l'ouvrage, dans les cas favorables elle ne dépasse pas une certaine valeur. Considérée du point de vue chimique, cette limite s'explique par le fait que le calcaire formé et déposé dans les pores obture peu à peu ces derniers, ce qui freine l'entrée du CO_2 et ralentit de plus en plus la réaction.

L'humidité de l'air a une grande influence car la réaction ne peut se faire sans eau. S'il est vrai que l'air sec favorise les échanges gazeux, il ne contient pas assez d'eau pour dissoudre l'hydrate de chaux et provoquer la réaction de carbonatation. D'autre part, si les pores sont saturés d'eau, cela empêche la pénétration du CO_2 de l'air. Les conditions optimales pour la carbonatation se trouvent donc au milieu, c.-à-d. à une humidité relative de l'air de 50 à 70%. Il en résulte que le béton immergé ne se carbonate pas. Les parties d'ouvrage placées à l'abri de la pluie se carbonatent plus vite que celles qui sont constamment humides. Dans les locaux chauffés avec en plus humidification de l'air, on trouve les conditions optimales pour la carbonatation.

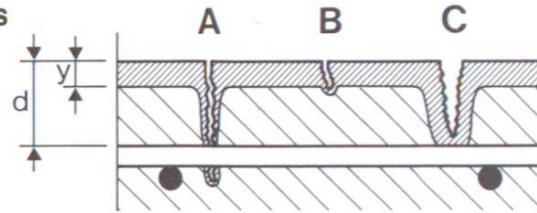
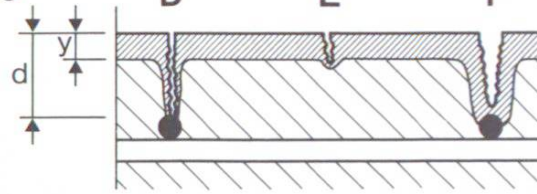
Effets sur le béton et le béton armé

La carbonatation a une influence très favorable sur le béton lui-même. Elle le rend plus compact et augmente sa résistance, sans modification de volume. La carbonatation de la surface d'un béton est en quelque sorte une protection naturelle contre la pénétration des gaz et liquides et n'entraîne en aucun cas des dégâts s'il s'agit de béton non armé.

Il en va autrement en ce qui concerne le béton armé pour lequel la carbonatation n'agit pas dans le sens de la sécurité. On ne s'en était pas avisé lors des débuts du béton armé. On savait alors que le béton protège l'armature contre la rouille et l'on était persuadé que cet effet était durable. Ce n'est qu'en présence de divers cas de détérioration que cette conviction a été ébranlée et qu'on a découvert pourquoi la protection contre la rouille peut être limitée dans le temps.

Pour qu'un ouvrage en béton armé soit durable, il faut que l'armature soit définitivement protégée contre la rouille. Si ce n'est pas le cas, l'acier qui rouille augmente de volume et fait éclater la couverture de béton. Le danger de rouille est alors accru, ce qui conduit à la perte progressive de la résistance.

On sait que c'est le milieu alcalin du béton qui procure la protection de l'acier contre la rouille. Comme on l'a vu, la carbonatation diminue l'alcalinité du béton ($\text{pH} < 9$). Quand elle atteint la région de

Fissures transversales**Fissures longitudinales**

Fissures A et D: Armature en contact direct avec l'air. Corrosion indépendante de la carbonatation.

Fissures B et E: Légères fissures moins profondes que la couverture de béton. Elles ne provoquent aucune corrosion.

Fissures C et F: Les fissures larges provoquent de la corrosion même si elles n'atteignent pas l'armature car la carbonatation pénètre dans leurs flancs aussi profondément que dans la surface.

T.F.B.

Fig. 3 Image des fissures et de l'état de la carbonatation à un certain moment t . Les millimètres extérieurs sont carbonatés ($y < d$). La corrosion de l'armature dépend de la profondeur et de la largeur des fissures.

l'armature ($y > d$), cette dernière commence à rouiller si elle est en même temps en présence d'eau et d'oxygène, ce qui est souvent le cas.

Les constructions en béton armé sont plus ou moins fissurées, ce qui nuit à leur durabilité. Les fissures profondes mettent l'armature directement en contact avec l'oxygène et l'humidité de l'air et provoquent la corrosion indépendamment de la carbonatation. Les fines fissures sont sans effet car, dans leur voisinage, la carbonatation n'atteint pas une profondeur plus grande que dans le béton non fissuré (Fig. 3). D'une manière générale on peut dire que si les fissures sont telles que la durabilité en est réduite, la corrosion de l'armature sous l'influence de l'air et d'autres agressions chimiques (notamment la teneur du béton en chlorure) est beaucoup plus importante que la carbonatation du béton. Ce n'est que par les fissures larges que la carbonatation peut atteindre l'armature et provoquer une corrosion d'autant plus dangereuse qu'elle est invisible.

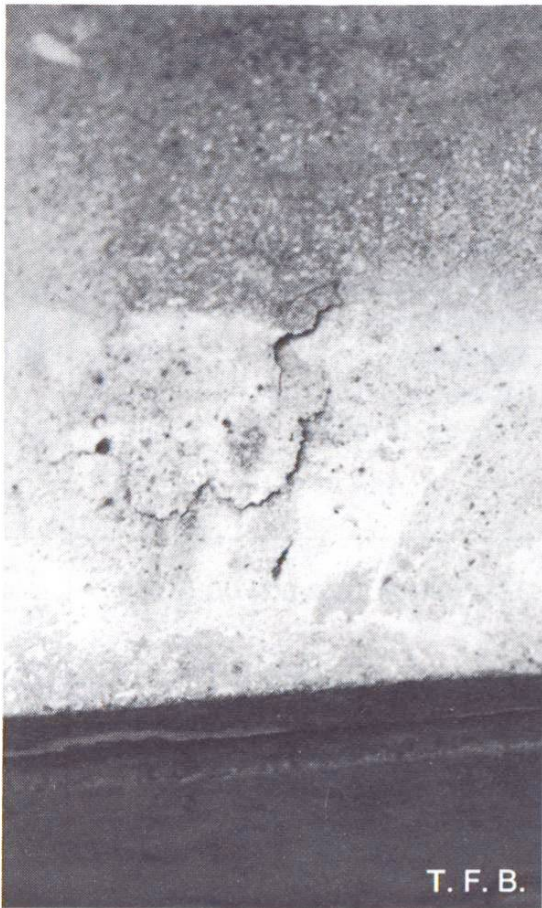


Fig. 4 Gonflement. La cause du dégât n'est pas encore visible.



Fig. 5 Gonflement et écaillage provoqués par la corrosion de l'armature.

Carbonatation et progression des dégâts

La carbonatation progresse lentement et d'une façon invisible. D'abord on ne voit rien, puis ses conséquences pratiques se révèlent par des dégâts. Comme on l'a montré, les constructions en béton non armé ne subissent aucun dégât, en revanche, le béton armé peut être détérioré (Fig. 4, 5 et 6). Le scénario des dégâts se déroule de la façon suivante: Surface intacte – Fissures – Gonflements – Ecaillures – Corrosion complète de l'armature.

Si un expert est confronté avec un dégât, il commence par en faire une description, puis en pose le diagnostic en déterminant sa cause, son degré de gravité et son ampleur. Il est indispensable pour faire ce diagnostic qu'il puisse avoir une vision détaillée des lieux, même si cela exige un échafaudage. Le diagnostic de la nature des dégâts et de leur cause peut donc entraîner des dépenses importantes, mais il est nécessaire si l'on veut éviter leur aggravation ou leur renouvellement.

Le tableau 1 montre comment les choses se présentent dans un cas concret.

7 Tableau 1 La carbonatation du béton dans un cas de dégât

<p>On remarque des dégâts à la surface du béton. De quels dégâts s'agit-il? p. ex.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Efflorescences - Fissures - Résurgence d'eau - Bulles d'air - Nids de gravier - Désagrégation - Salissures, mousses - Modification de teinte - <i>Ecaillures</i> - Délavage - Usure - Taches de rouille 	Nature
<p>Les dégâts consistent en écaillures isolées. Qu'est-ce qui a provoqué ces écaillures? p. ex.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coups (marteau, pic) - Gel - Matière expansive - Pression sur l'arête - <i>Rouille de l'armature</i> - Bout de bois oublié <p>Les écaillures sont imputables à la corrosion de l'armature. Pourquoi les fers rouillent-ils dans le béton? p. ex.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Attaque par un chlorure - <i>Carbonatation du béton</i> - Courant électrique - Fissures avec pénétration d'eau et d'oxygène - etc. 	Cause
<p>Comment les dégâts vont-ils évoluer avec le temps?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diminution de l'aptitude à l'usage (<i>Durabilité</i>, fonctionnement, <i>aspect</i> du béton) - Diminution de la sécurité 	Gravité
<p>Quelles sont les parties endommagées?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dégâts localisés - <i>Petites surfaces</i> - Parties d'ouvrage - Parties de façades - Façades entières - Eléments porteurs 	Etendue
<p>Constructions existantes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faut-il réparer les dégâts? - Comment réparer? - Comment prévenir le renouvellement des dégâts à l'avenir? <p>Nouvelles constructions</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les mesures préventives à prendre? 	Réparation / Prévention

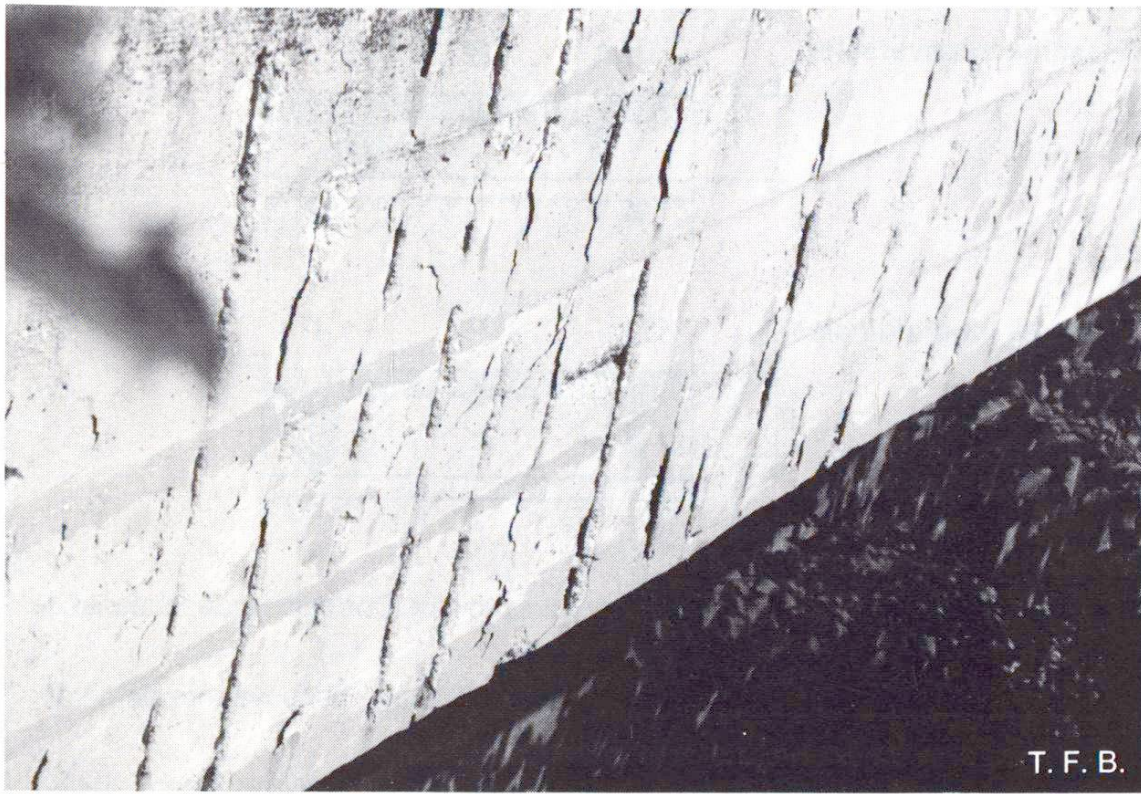


Fig. 6 Dégâts provoqués par la rouille sur un parapet de balcon, à cause de la carbonatation du béton.

La carbonatation du béton provoque des dégâts si le front de carbonatation atteint l'armature. Il faut donc déterminer la profondeur de carbonatation. Cela peut se faire sur le chantier par l'essai à la phénolphthaléine sur une surface de rupture fraîche ou sur la poussière produite par une perceuse à percussion [2, 3]. Si l'on prélève des carottes, la profondeur «y» peut aussi être déterminée en laboratoire. Il est important de connaître également la couverture du béton d qui peut être déterminée en repiquant le béton ou même sans cela. Au moyen de ces deux valeurs y et d mesurées en un nombre suffisant de points et en tenant compte de l'âge du béton, on peut estimer la gravité et l'étendue des dégâts résultant de la carbonatation.

En général, seuls l'aspect et la durabilité des bétons sont affectés par la carbonatation. Les dégâts devenus apparents évoluent lentement et peuvent être réparés avant qu'ils ne provoquent une rupture de l'ouvrage. Aucune conséquence catastrophique n'est à craindre s'il est procédé à des contrôles périodiques. Mais les réparations peuvent modifier gravement l'aspect du béton, ce dont il faut tenir compte si le maître de l'ouvrage attribue de l'importance à cet aspect [4].

9 La prévention dans les nouvelles constructions

Comme on l'a montré, la carbonatation a un effet positif sur le béton tant qu'elle ne dépasse pas une certaine limite. Pour éviter des dégâts du béton armé, il faut faire en sorte que le front de carbonatation n'atteigne pas la nappe d'armature pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage. Des mesures effectuées sur d'anciennes constructions montrent que c'est tout à fait possible. La profondeur de carbonatation n'est au maximum que de 5 à 10 mm, même après des décennies.

Il faut prendre garde aux points suivants pour obtenir ce résultat:

1. Pour être durable, le béton armé doit avoir une couverture de béton suffisante sur l'armature. Il faut être particulièrement attentif à la position des câbles de précontrainte.
2. La couverture de béton doit être compacte, ce qu'on obtient par
 - une bonne maniabilité liée à une teneur optimale en fines,
 - un grain maximum adapté à l'épaisseur de la couverture,
 - une teneur en ciment suffisante (en général 300 kg/m³ selon norme SIA 162 [1968], art. 2.05),
 - un faible facteur eau/ciment,
 - un traitement de cure bien exécuté et complet.
3. Si l'air est particulièrement riche en CO₂, il faut augmenter l'épaisseur de la couverture de béton.
4. La répartition de l'armature et le diamètre des fers doivent être adaptés l'un à l'autre. Il faut disposer des ouvertures dans la nappe d'armature pour permettre l'introduction et la vibration du béton.
5. Lors de la mise en soumission et de la remise des offres, il faut tenir compte du fait que les différentes parties d'ouvrage ne doivent pas nécessairement être toutes en béton de même qualité, ce qui devrait se traduire par une différenciation dans les prix.

Ces différents points ne révèlent rien de nouveau et ne concernent pas uniquement la carbonatation. Ils font partie des règles de l'art de construire telles qu'elles devraient être connues de tous.

On se plaint parfois de ne plus trouver de main-d'œuvre qualifiée sur les chantiers. Mais le respect des 5 points ci-dessus ne doit rien à cet argument car il s'agit de mesures qui peuvent être planifiées et prescrites. Elles ne dépendent que très peu des possibilités et du savoir faire des ouvriers. C'est plutôt une question de coût et le maître de l'ouvrage doit être prêt à payer ce qui est juste pour obtenir la qualité nécessaire. Il existe bien des variantes techniques. On pense aux barres d'armature avec enduit étanche ou à l'exécution ultérieure de traitements de surface. Mais leur prix est si élevé (pas

10 seulement en argent) qu'il vaut la peine de prévoir un béton de qualité bien adaptée et de payer pour cela un certain supplément.

B.M.

Bibliographie

- [1] *Klopper, H.*: «Die Carbonatisation von Sichtbeton und ihre Bekämpfung». Bautenschutz und Bausanierung, Cahier 3, p. 86–97, 1978
- [2] *Merminod, Ch.*: «Die Gefahr der Betonkarbonatisation». Cahier SIA 24, p. 582–583, 1980
- [3] *Koelliker, E.*: «Zur Carbonatisierung von Beton». Cahier SIA 25, p. 636–640, 1985
- [4] Bundesverband der Deutschen Zementindustrie: «Instandsetzen von Betonoberflächen». Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986
- [5] «Bulletins du ciment» traitant du même thème: Nos. 17/79, 7/80, 2/82 et 13/85