

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: 17

Artikel: Méthode de mesure de la capillarité des bétons et mortiers
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-146200>

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: 15.03.2025

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

BULLETIN DU CIMENT

MAI 1989

57E ANNÉE

NUMÉRO 17

Méthode de mesure de la capillarité des bétons et mortiers

Pores capillaires. Principe de la mesure. Exécution et exemples.

Bétons et mortiers sont des matériaux poreux. A l'état durci, ils comportent des vides, en général remplis d'air ou d'eau. Le volume de ces pores est très variable et peut atteindre 10 à 20% et même plus, soit 100 à 200 l par m³ de béton. La porosité est donc un facteur important de la qualité du matériau. Elle détermine notamment la résistance, la teneur en eau, la compacité et la durabilité. On distingue les pores de compactage (dus à la mise en œuvre du béton), les pores du granulat et les pores de la pâte de ciment.

Les capillaires

La pâte de ciment se compose de ciment, d'eau ainsi que de la fraction du granulat et des ajouts dont la finesse est la même que celle du ciment. Ses pores se forment dès le moment de la prise et les modifications qu'ils subissent ensuite dépendent des conditions dans lesquelles se fait le durcissement. Concernant leur dimension, on distingue:

- | | | | |
|---------------------|---|-------------|----|
| – macropores | ∅ | > 1 | μm |
| – pores capillaires | ∅ | 0,100–1,000 | μm |
| – micropores | ∅ | 0,010–0,100 | μm |
| – pores du gel | ∅ | < 0,010 | μm |

2 Le béton à air occlus est un cas particulier qui n'est pas traité ici.

Les *pores du gel* se forment au cours de la réaction du ciment avec l'eau (hydratation). Pour être complète, cette réaction a besoin d'une quantité d'eau égale à 40% du poids du ciment ($e/c = 0,40$). Mais seuls les 25% de cette eau sont liés chimiquement, le reste se retrouve dans les pores du gel. Le volume total diminue quand l'hydratation progresse. Ce phénomène appelé retrait chimique entraîne la formation de pores d'un diamètre de 0,1 à $1\mu\text{m}$ qu'on ne peut donc pas distinguer visuellement des pores capillaires. Après hydratation complète, leur volume est de 6 cm^3 par 100 g CP, c.-à-d., suivant le facteur e/c , environ 7% du volume de la pâte de ciment ou 2% de celui du béton.

Les *pores capillaires* sont dus à la quantité d'eau excédentaire. Leur volume correspond donc à celui de l'eau de gâchage qui n'a pas été utilisée pour l'hydratation, c.-à-d. celle qui dépasse 40% du poids du ciment ($e/c = 0,40$). Cette eau en excédent a été ajoutée au béton pour le rendre maniable si on n'a pas voulu atteindre ce but par l'utilisation d'adjuvants. Ainsi, par exemple, un béton CP 300 de $e/c = 0,60$ a un excédent d'eau de $0,20 \times 300\text{ kg} = 60\text{ kg}$, c.-à-d. qu'il peut s'y former des pores capillaires d'un volume de 60 l/m^3 (6%). En pratique ce volume est encore plus grand car le ciment n'est jamais complètement hydraté.

S'il ne l'est qu'à 80%, il y aura $20\% \times 0,40 \times 300\text{ kg} = 24\text{ kg}$ d'eau de gâchage non liée, ce qui augmente le volume des pores capillaires de 24 l/m^3 (2,4%). Les pores capillaires sont en forme de veines plus ou moins communicantes qui constituent un réseau à mailles fines. Suivant le degré de dessèchement, ils sont remplis en partie d'eau et en partie d'air.

Les pores plus gros (macropores) se forment par ségrégation, inclusion d'air, mauvais compactage, coffrages non étanches, etc. Si l'on peut observer un phénomène de capillarité sur un objet, c'est que ce dernier comporte un système de pores capillaires. *La capillarité* est mise en évidence quand le réseau de pores est ouvert à la surface et qu'il est mis en contact avec un liquide. Le liquide monte alors à l'intérieur de l'objet sans l'action de forces extérieures. Ce phénomène d'absorption (effet de succion) est caractérisé par la hauteur et la vitesse d'ascension. Il est provoqué par la pression capillaire p :

3
$$p = \frac{2 \sigma}{R} \quad (\text{Loi de Laplace})$$

où σ = Tension superficielle du liquide

R = Rayon de courbure de la surface du liquide dans le capillaire

Le rayon de courbure R est du même ordre de grandeur que la grosseur des pores capillaires et dépend en outre de l'angle de mouillance entre la surface du liquide et celle du solide. Plus les pores sont petits, plus les forces de capillarité sont grandes et moins l'eau qu'ils contiennent peut s'évaporer. Dans les pores très fins tels que ceux du gel, il n'y a pratiquement pas d'évaporation.

En déterminant la capillarité du béton, on obtient aussi celle de la pâte de ciment. En effet, dans les conditions suisses, la capillarité du granulats n'a aucune influence car on utilise normalement des graviers à grains compacts (exception: Le béton léger qui doit être étudié spécialement). La capillarité de la pâte de ciment est le facteur déterminant pour le déplacement de l'eau liquide dans la masse de béton. Cette eau se meut lentement, d'autant plus lentement que les pores sont plus fins. Sa vitesse est une valeur caractéristique du matériau en ce qui concerne tous les phénomènes dans lesquels le déplacement d'eau joue un rôle, p.ex. compacité, résistance au gel, pénétration de chlorure, efflorescences, etc.

Principe de la mesure

La méthode repose sur la mesure directe de l'ascension capillaire d'un liquide. On place la face plane d'un échantillon légèrement immergée à la surface de l'eau (Fig. 1). La hauteur d'ascension est à peu près proportionnelle à la racine carrée du temps t (6). On cherche le coefficient de pénétration capillaire B

$$B = \frac{h}{\sqrt{t}} \quad [m \cdot h^{-0,5}]$$

Après une durée de 60 minutes, soit t = 1 heure, la hauteur mesurée en mètre donne directement le coefficient B.

Par rapport à la détermination pondérale dans laquelle l'absorption capillaire se mesure par le poids de l'eau absorbée, cette méthode a l'avantage d'être indépendante de la composition granulométrique, en particulier de la proportion granulats/pâte de ciment. Elle est aussi la seule qui offre la possibilité d'une différenciation locale quasi ponctuelle de la capillarité.

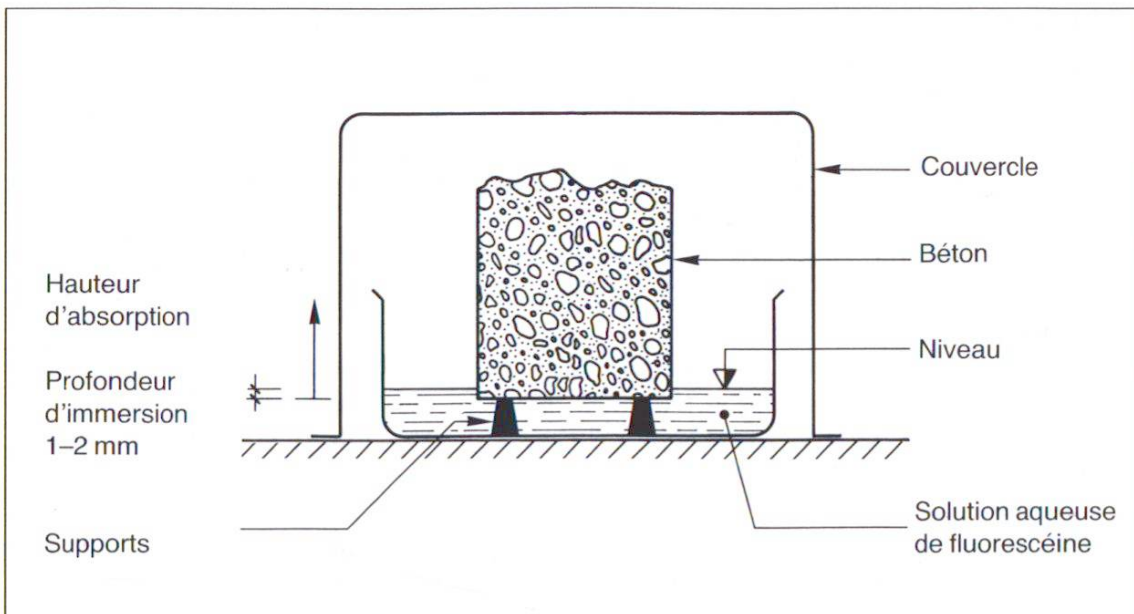


Fig. 1 Dispositif de mesure de la capillarité.

Equipement et exécution

L'échantillon peut en principe être aussi grand qu'on le veut et doit avoir au moins une face plane. Il est premièrement séché pendant 24 h à 80 °C dans une étuve ce qui élimine toute l'eau des pores à l'exception de celle des pores du gel. Après refroidissement, il est mis en contact avec une solution aqueuse de fluorescéine (concentration 0,1%; Fig. 1).

L'opération est interrompue après 60 minutes. Pour rendre la hauteur d'ascension bien visible, on sèche à nouveau l'échantillon pendant 24 h à 80 °C dans l'étuve. L'eau de la solution absorbée est ainsi éliminée et la fluorescéine reste comme marquage aux parois des capillaires. Pour fixer ce marquage, on imprègne l'échantillon avec une résine époxy de basse viscosité sous une pression de 100 bars. Après durcissement de la résine, l'échantillon est tronçonné et examiné à la lumière violette à travers un filtre jaune. On a alors l'image fluorescente exacte du front et de la zone atteinte par l'eau ascendante, ce qui permet de mesurer aisément la hauteur d'ascension h .

5 Exemples

Exemple 1. Des échantillons ont été prélevés dans des murs de 18 cm d'épaisseur construits tout exprès par le LFEM. Les mesures concernent les 45 à 48 cm supérieurs des murs. Les surfaces mises en contact avec l'eau sont sciées et non coffrées. Dans cet exemple, on mesure donc la capillarité de l'intérieur des murs en fonction de la hauteur du prélèvement. La figure 2 montre la hauteur d'ascension capillaire de quatre bétons différents mesurée par la méthode décrite. Le tableau 1 indique les caractéristiques des bétons et les coefficients de pénétration capillaire correspondants. Les mesures ont été faites à des profondeurs de 2 à 40 cm à partir du haut. Elles montrent que:

- la capillarité est plus grande dans la partie supérieure;
- la capillarité est nettement plus faible pour le meilleur rapport e/c (no 1 avec e/c = 0,50);
- l'introduction d'air occlus ne modifie pas la hauteur de l'absorption capillaire;
- la ségrégation par survibration (no 4) ne modifie pas l'absorption capillaire de la partie supérieure du mur riche en sable par rapport à la partie inférieure (accumulation de gros granulats). La capillarité est bien une propriété de la pâte de ciment.

Tableau 1. Caractéristiques des bétons de l'exemple 1. Coefficient de pénétration capillaire B

Bétons				Coefficients de pénétration capillaire B en $\text{mm} \cdot \text{h}^{-0,5}$ ou $10^{-3} \text{ m} \cdot \text{h}^{-0,5}$ aux profondeurs p à partir du haut du mur					
No	kg CP/m ³	e/c		t[cm]	2	10	20	30	40
1	300	0,50	vibré normalement		15	10	10	10	12
2	250	0,68	vibré faiblement		35	27	21	20	17
3	250	0,68	vibré faiblement avec 5% d'air occlus		30	19	18	18	20
4	250	0,68	survibré avec 5% d'air occlus		35	14	21	17	16

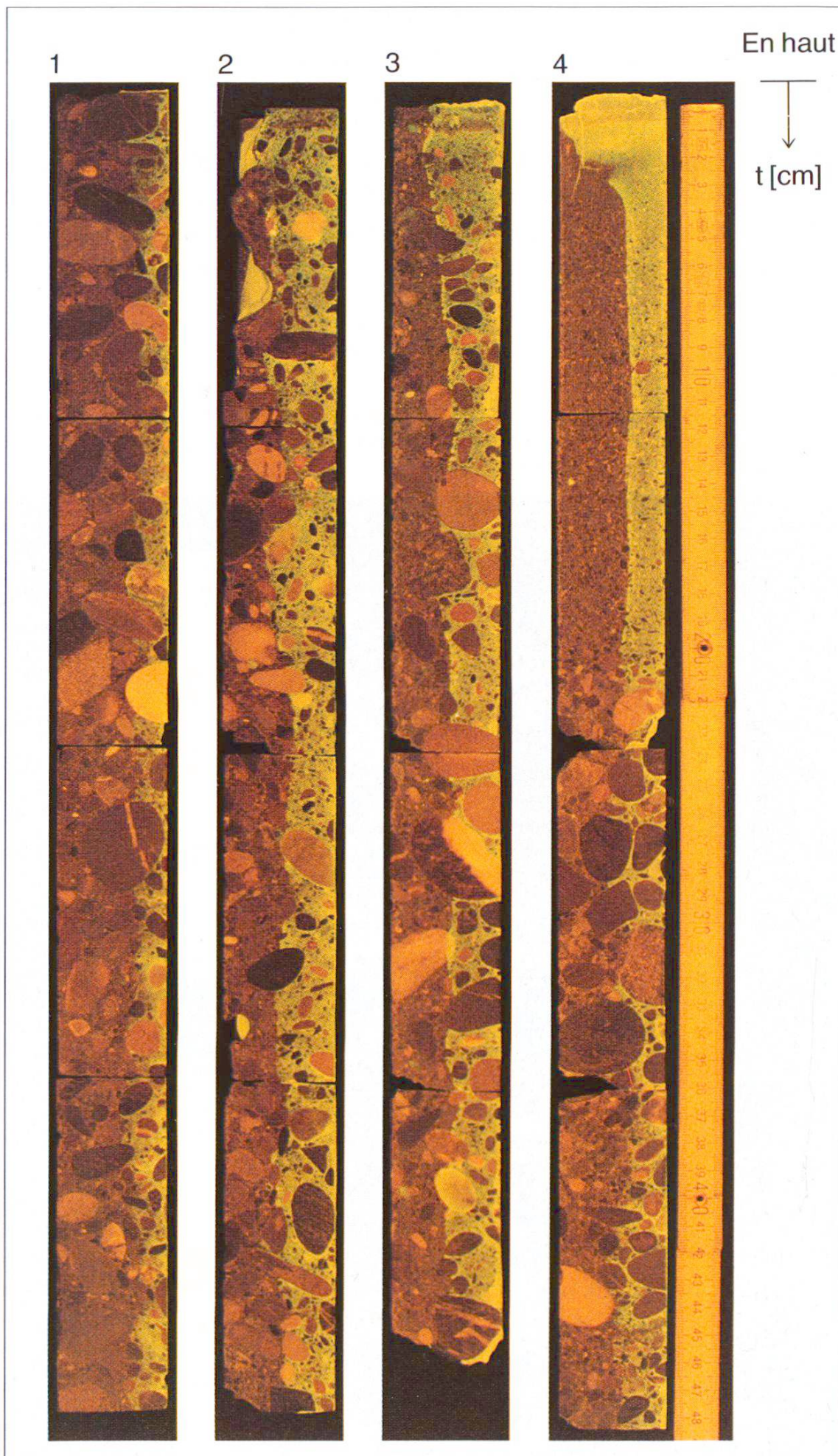
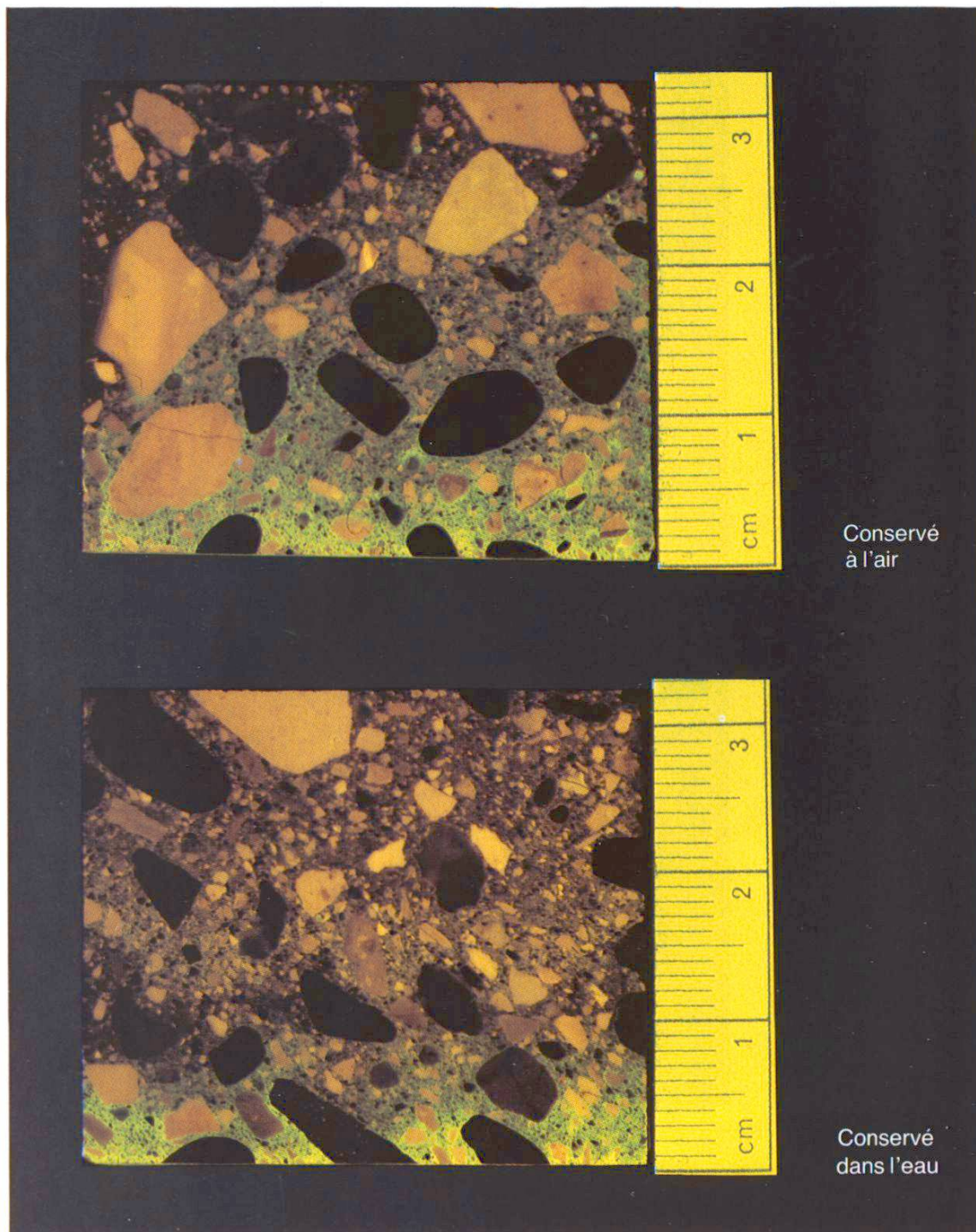


Fig. 2 Echantillons de la partie supérieure de quatre murs différents. Bétons et capillarité, voir tableau 1.

7 **Exemple 2.** Le traitement de cure consiste en un maintien de l'humidité. Il a pour but d'éviter un dessèchement prématuré du béton. Son influence peut même être plus importante que celle du rapport e/c. La figure 3 montre deux cubes de béton décoffrés après 24h et conservés ensuite, l'un à l'air, l'autre dans l'eau. Après 28 jours, on a déterminé la capillarité par la méthode décrite. On constate nettement l'influence du maintien de l'humidité sur la porosité de la pâte de ciment, c'est-à-dire celle du traitement de cure sur la durabilité.

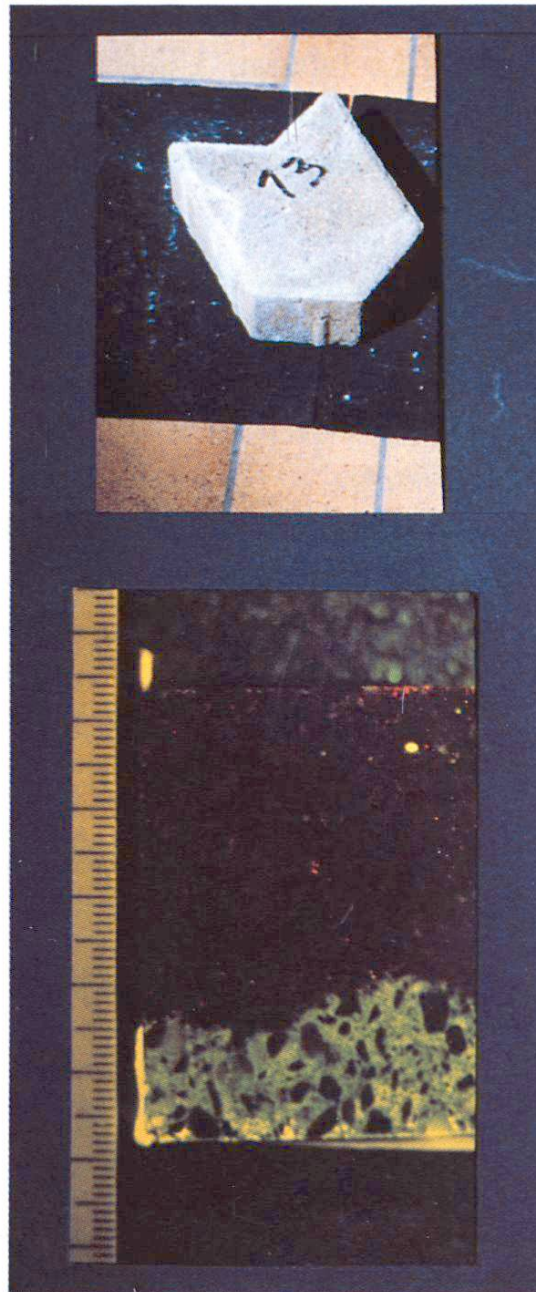
Fig. 3 Influence du traitement de cure sur la porosité du béton. Béton PC 300, 0-30 mm, e/c = 0,57, décoffré après 24 heures. En haut: Conservé à l'air; en bas: conservé dans l'eau. Détermination de la capillarité après 28 jours.



8 **Exemple 3.** Les efflorescences sont imputables aux phénomènes de migration de l'eau dans la pâte de ciment. Les figures 4 et 5 montrent deux pavés. Celui qui a une forte capillarité présente aussi des efflorescences (no 13).

Fig. 4 Pavé sans efflorescences. Coefficient d'absorption capillaire $B = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m h}^{-0,5}$.

Fig. 5 Pavé avec efflorescences. Coefficient d'absorption capillaire $B = 23 \cdot 10^{-3} \text{ m h}^{-0,5}$.



La méthode décrite est d'exécution simple et fournit une information importante complétant celle qu'on avait par la résistance et la densité. Elle permet de prévoir la durabilité, que ce soit en ce qui concerne le gel, la carbonatation ou encore diverses autres agressions auxquelles le matériau peut être exposé au cours du temps. Les meilleures performances mécaniques sont vaines si la structure du béton se détériore déjà après peu de temps.

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

9 Bibliographie

- [1] *Papadakis, M., Venuat, M.*: Manuel du laboratoire d'essais des ciments, mortiers, bétons. Editions Eyrolles, Paris 1969, pp. 255–259
- [2] *Venuat, M.*: Recherches sur le béton hydrotechnique, résumé du livre du Prof. V.V. Stolnikov (URSS). Revue des Matériaux de construction 607 (1966), pp. 151–165
- [3] *Venuat, M.*: Appréciation de la résistance au gel des bétons par mesure de l'absorption capillaire. CR 1/Q30, 8e Congrès International des Grands Barrages. Edimbourg, mai 1964
- [4] *Piguet, A.*: Einfluss der Nachbehandlung auf die Betonkapillarität unter Berücksichtigung des Wasserzementwertes und der Festigkeit. In: Wittmann, F.H. (Hrsg.): Werkstoffwissenschaften und Bausanierung. Internationales Kolloquium, Esslingen (1983), pp. 149–152
- [5] *Wittmann, F.H.*: Feuchtigkeitsaufnahme und Feuchtigkeitstransport in porösen Baustoffen. In: Weber, H. u. a.: Fassadenschutz und Bausanierung. Kontakt und Studium, Band 40, Expert Verlag, 4. bearb. Aufl. (1988), pp. 49–71
- [6] *Weber, H.*: Die Ermittlung von Kenndaten als Grundlage zur Bewertung und Sanierung von Gebäuden und zur Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren und Sanierungssysteme. Ibidem, pp. 1–22
- [7] *Peter, G., Yang, Q., Rösli, A.*: Statistische Auswertung von Aufsaugversuchen an Beton zur Charakterisierung der schnellen Infiltration wässriger Lösungen. Material und Technik, Nr. 1 (1986), pp. 13–22
- [8] *Tinic, C., Burkhard, A.*: Aufsaugversuche an Betonproben mit Wasser und Kochsalzlösung. Schweizer Ingenieur und Architekt, 18 (1981), pp. 362–365

TFB

Pour tous autres renseignements s'adresser au
SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES
DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT WILDEGG/SUISSE
Case postale 5103 Wildegg Téléphone 064 53 17 71
Lindenstrasse 10 Téléfax 064 53 16 27