

# Au sujet de la structure de la pâte de ciment

Autor(en): **Esenwein, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **40-41 (1972-1973)**

Heft 8

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-145832>

## **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.

# BULLETIN DU CIMENT

AOUT 1972

40<sup>e</sup> ANNEE

NUMERO 8

---

## Au sujet de la structure de la pâte de ciment

**Composition de la pâte de ciment. Photos de surfaces de rupture prises au microscope électronique à balayage. Cristaux de Tobermorite. Micro-fissures de retrait.**

Pendant longtemps on a considéré la pâte de ciment, c'est-à-dire le ciment portland durci, comme une masse gélatineuse amorphe dans laquelle seraient sertis de minuscules cristaux de chaux hydratée ( $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ) et éventuellement de sulfoaluminat de calcium ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). On savait aussi que seule une mince couche à la surface des grains de ciment est hydratée et transformée en gel amorphe, alors que le ciment de l'intérieur des grains n'est pas encore atteint par l'hydratation. On se représentait le durcissement progressif et la lente augmentation des résistances par l'action de forces capillaires croissantes dues à la diminution de la teneur en eau à l'intérieur des grains de ciment.

Le perfectionnement de l'**analyse aux rayons ultra-violet**s permet de constater, il y a une vingtaine d'années, que le gel de ciment durci qui paraît amorphe est en fait formé en grande partie de grains très fins de **Tobermorite** cristallisée.

2 Le **microscope électronique** donnant un grossissement 1000 fois supérieur à celui du microscope optique permet non seulement de voir directement les cristaux, notamment ceux de Tobermorite, mais aussi de mieux étudier les propriétés structurales de la pâte de ciment durci. Mais c'est surtout le **microscope électronique\*** à balayage (REM) avec sa profondeur de champ beaucoup plus grande que celle du microscope optique qui a permis de voir et de photographier avec une netteté étonnante la structure et les cristaux de la pâte de ciment durci.

La grande profondeur de champ du REM permet en particulier de faire des observations sur de simples surfaces de rupture, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à des polissages ou des coupes minces. Cela offre le très grand avantage de pouvoir étudier les pores ouverts et les cristaux intacts. Ainsi, on a pu voir que la pâte de ciment durci, qui à l'œil nu paraît être une masse compacte, révèle sous un grossissement de 1000 à 10 000 fois de nombreux vides provoqués par l'eau de gâchage en excès. Dans l'état final du durcissement, pour une partie de ciment, il faut 0,4 parties d'eau fixée, alors que dans un béton normal il y a 0,5 parties d'eau. L'excédent est nécessaire pour conférer au mélange la maniabilité requise. Des 0,5 parties d'eau, 0,2 parties sont liées comme eau de cristallisation, 0,2 fixées dans les pores du gel et 0,1 sont libres de se déplacer. C'est au moment où cette eau libre s'évapore qu'elle crée un réseau de capillaires dans la pâte de ciment. Au début, tous les vides sont remplis d'eau et les cristaux de Tobermorite en forme de fils ou d'aiguilles peuvent s'y développer, comme on le voit aux fig. 1-3. Cette croissance se poursuit, les aiguilles de Tobermorite deviennent plus nombreuses et plus grosses et les pores se remplissent progressivement d'un feutrage toujours plus dense de cristaux. C'est ce qui provoque l'augmentation de la consistance de la pâte de ciment jusqu'à ce qu'elle devienne un solide dont la résistance augmentera encore pendant longtemps. Ainsi, pour que le durcissement du ciment s'accomplisse et se continue, il faut qu'il y ait de l'eau ou une solution de ciment et d'eau dans les pores. Dès que cette eau disparaît, par exemple par un dessèchement prématuré, les cristaux de Tobermorite cessent de se développer et la résistance du mortier cesse de croître.

---

\* Le microscope électronique à balayage du LFEM (Dübendorf) avec lequel ont été prises les photos accompagnant cet article est une nouvelle acquisition. Il est à disposition pour tout mandat de recherche.



3 Mais en cas de dessèchement, ce n'est pas seulement l'eau libre qui s'évapore, mais aussi partiellement celle qui est liée au gel. C'est ce qui provoque ce qu'on appelle le **retrait**. Les grosses fissures de retrait du mortier ou du béton sont faciles à voir. Leur longueur est de quelques dixièmes à quelques millimètres. En revanche, on ne peut voir à l'œil nu les **micro-fissures de retrait** qui affectent la structure fine de la pâte de ciment durci sans modifier ses dimensions extérieures. On ne peut le plus souvent les voir qu'à l'aide d'un appareil à grand grossissement tel que le REM. De telles micro-fissures sont visibles dans les fig. 4 et 5.

Il est certain que la formation des cristaux de Tobermorite et celle des micro-fissures ont une influence sur l'évolution des résistances de la pâte de ciment. Peut-être cela permettra-t-il un jour d'expliquer pourquoi la résistance est environ 10 fois plus grande en compression qu'en traction. Ce n'est que par de nouvelles recherches qu'on pourra élucider cette question, recherches pour lesquelles le microscope électronique à balayage sera certainement un auxiliaire des plus précieux.

Dr P. Esenwein



Fig. 1 Photo prise au microscope électronique à balayage. Surface de rupture d'une galette en pâte de ciment pur (galette pour l'examen de la stabilité de volume selon norme SIA, non séchée au four, âge 3 mois). Aurifiée sous vide. Grossissement environ 2500. La photo montre des vides ouverts, partiellement remplis d'un feutrage de cristaux qui doivent être de Tobermorite si l'on en juge pas analogie avec le silicate tricalcique pur, hydraté ( $C_3S$ ).

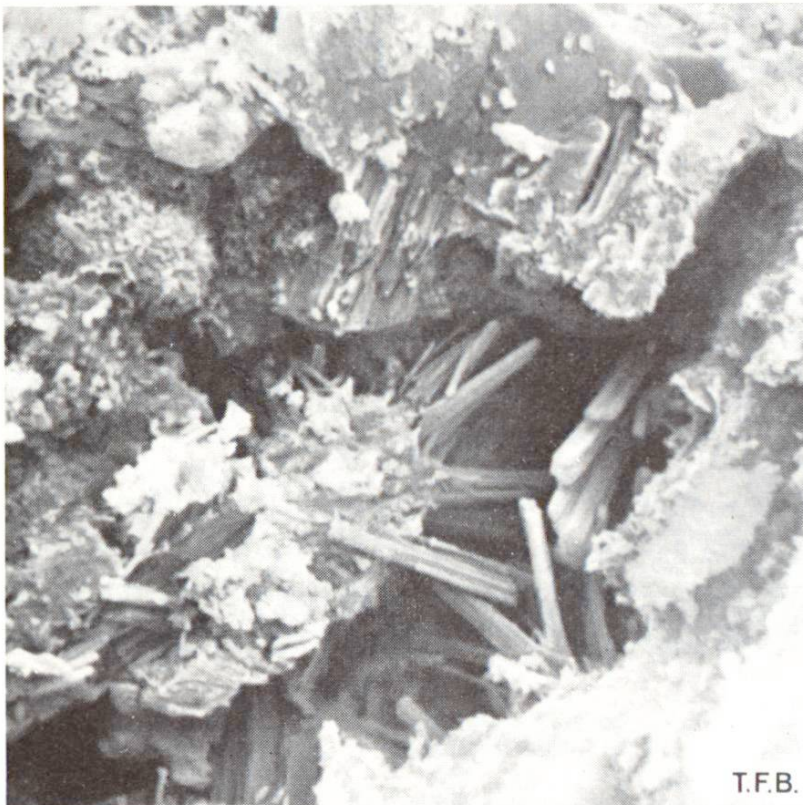


Fig. 2 Détail de la photo 1 au grossissement de 5500. On voit nettement les vides se remplissant progressivement d'aiguilles de Tobermorite dirigées en tous sens.





Fig. 3 Détail de la photo 2 au grossissement de 11 000. Au milieu à gauche, dans un pore, un grain de ciment, entouré d'une couche de points d'hydratation blancs sous formes cristallines. A partir de cette couche, les cristaux de Tobermorite croissent vers l'extérieur alors que d'autres aiguilles poussent à leur rencontre jusqu'à ce que le vide soit finalement complètement rempli de cet amas feutré.



Fig. 4 Même échantillon que celui des photos 1 à 3 (surface de rupture d'une galette de ciment pur), mais photo prise au grossissement de 1100 sur une zone relativement compacte, sans pores, également aurifiée. On ne voit que quelques fragments de cristaux de Tobermorite. Les produits d'hydratation semblent former une masse compacte. Au milieu, quelques fissures de retrait dans cette masse; elles deviendront plus visibles sous grossissement supérieur.



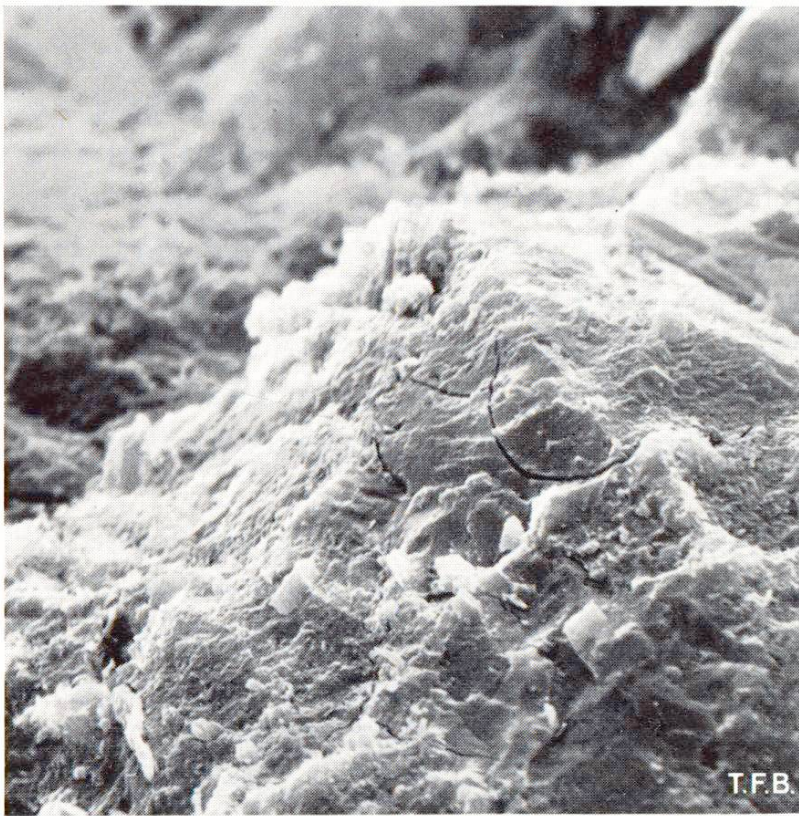


Fig. 5 Détail de la photo 4 au grossissement 2200. Le réseau de fissures de retrait est devenu plus visible.

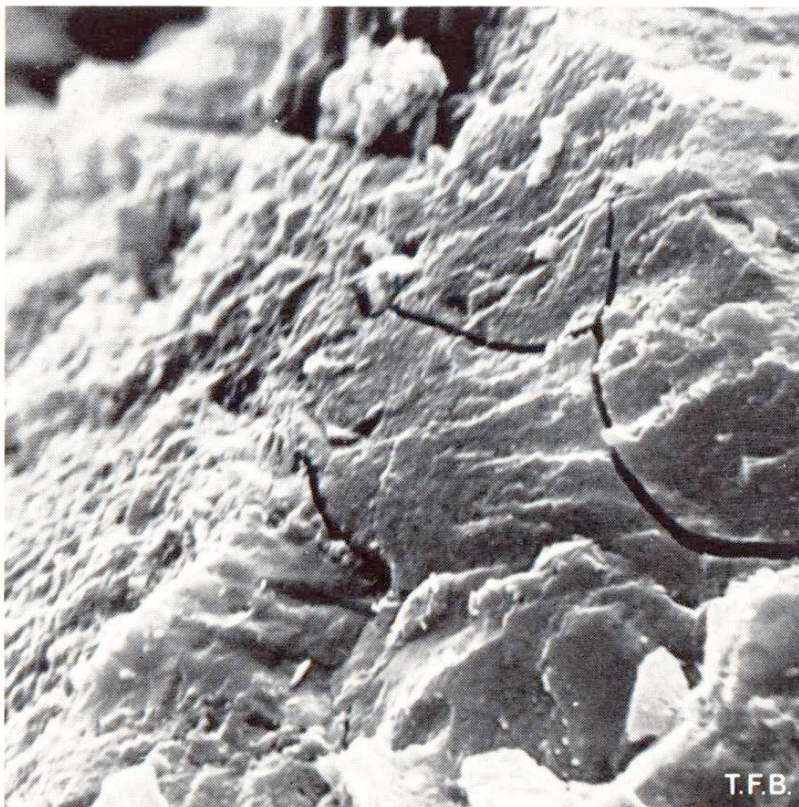


Fig. 6 Détail de la photo 5 au grossissement de 5500. Les fissures de retrait de la pâte de ciment paraissent être béantes bien que leur largeur ne soit que de 1/5000 de millimètre, soit  $0,2 \mu$ .

**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