

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Herausgeber:** Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)  
**Band:** 16-17 (1948-1949)  
**Heft:** 21

**Artikel:** Le durcissement du ciment  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-145321>

### **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:** 21.12.2024

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

# BULLETIN DU CIMENT

SEPTEMBRE 1949

17ÈME ANNÉE

NUMÉRO 21

---

## Le durcissement du ciment

**Les nouvelles théories sur le durcissement. Solidification par l'eau. Transformation des minéraux du clinker. Influence des surfaces de réaction. Températures.**

Avant la découverte du ciment portland, on s'était déjà demandé pourquoi certaines matières pulvérulentes mélangées avec de l'eau pouvaient ensuite se solidifier. Aujourd'hui encore, le processus du durcissement fait l'objet de nombreuses recherches, et on n'est pas complètement au clair sur ce phénomène dont les circonstances sont très complexes et difficiles à contrôler.

Si l'on fournit à un ciment la quantité voulue d'eau, on déclenche les réactions chimiques dénommées hydratation. Remarquons tout d'abord que ces phénomènes se produisent entre un liquide, l'eau, et un solide, le grain de ciment. On comprend facilement que l'absorption d'eau sera d'autant plus rapide et plus complète que la surface des grains solides, par conséquent la finesse du ciment, est grande. On peut admettre que le siège des différentes réactions se trouve aux surfaces de contact entre le liquide et le solide. L'hydratation ne gagne que très lentement l'intérieur des grains de ciment. Ainsi, pour un diamètre des grains de 15 à 30  $\mu$  (1  $\mu$  = 0,001 mm), la profondeur atteinte par l'hydratation en 90 jours n'est que de 5  $\mu$ .

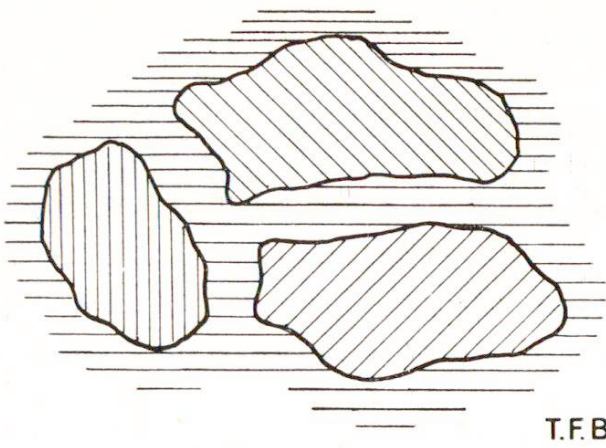


Fig. 1 Les grains de ciment en contact avec l'eau

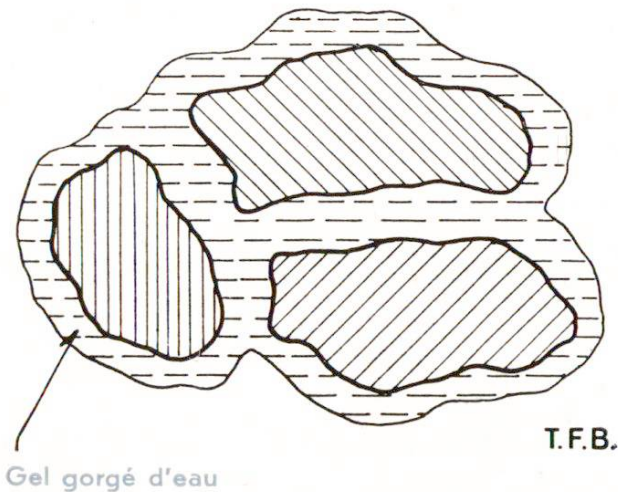


Fig. 2 Hydratation de la surface et formation du gel

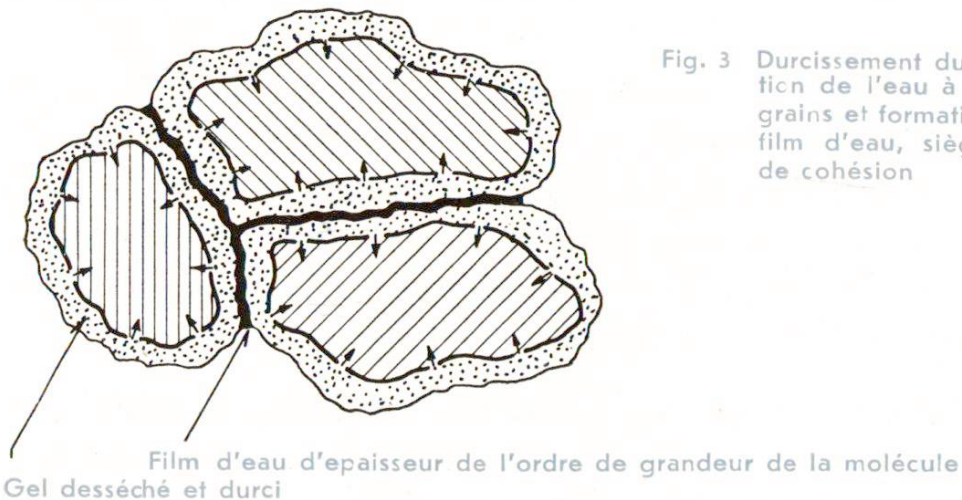


Fig. 3 Durcissement du gel: Pénétration de l'eau à l'intérieur des grains et formation d'un mince film d'eau, siège des forces de cohésion

Fig. 1 à 3 Représentation schématique du processus de la prise et du durcissement du ciment

Le ciment ne se compose pas d'un seul corps chimique, mais d'un mélange de plusieurs minéraux, dont la plupart se comportent de façons différentes. Il pourra donc se produire un très grand nombre de réactions d'hydratation. Les principaux constituants du ciments sont les suivants:



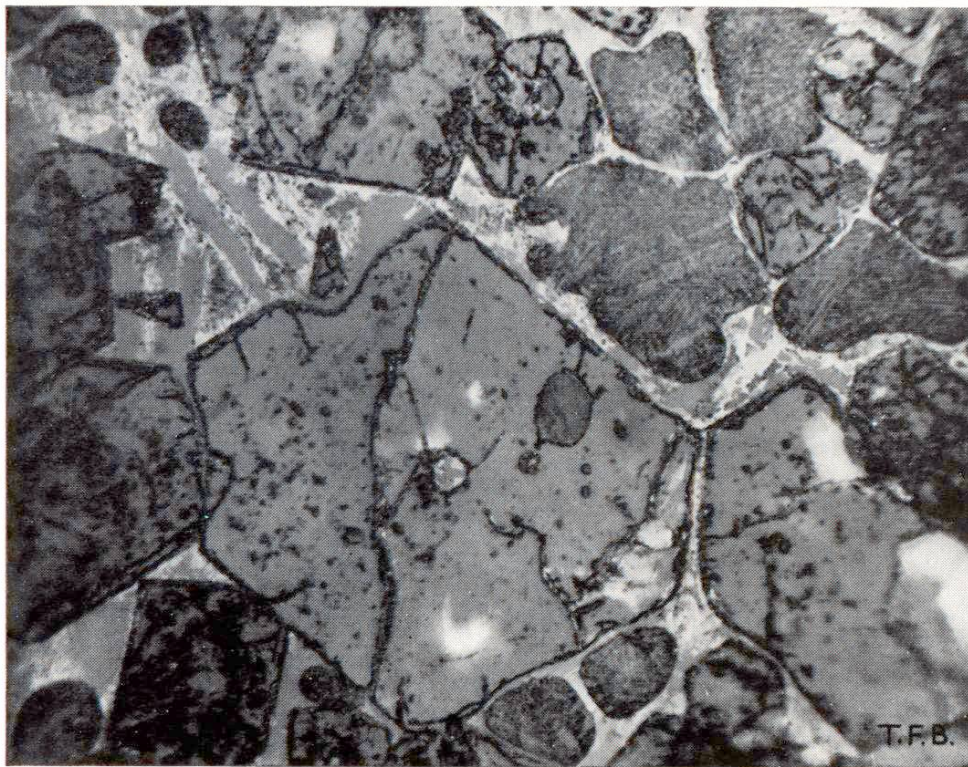
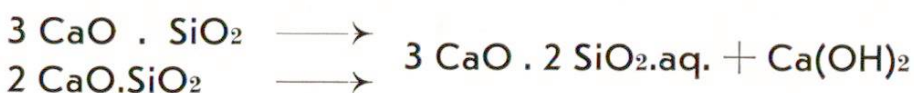
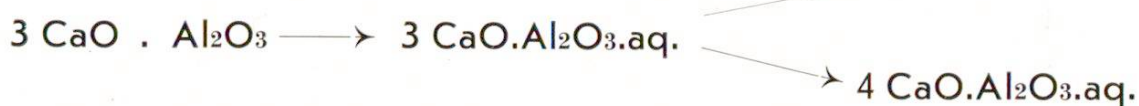


Fig. 4 Microphotographie d'une coupe polie de clinker de ciment portland (grossissement 540 fois). Les grosses plaques hexagonales sont des cristaux d'alite, les grains arrondis avec stries croisées sont formés de bélite. Dans la masse vitrifiée entourant les cristaux d'alite et de bélite, on distingue encore d'autres minéraux

		env.
1. Silicate tricalcique	= Alite $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	50 %
2. Silicate bicalcique	= Belite $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	25 %
3. Aluminate tricalcique	= $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	10 %
4. Ferroaluminate tétracalcique	= $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	10 %
5. Gypse	= $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$	5 %
6. Chaux libre	= $\text{CaO}$	1 %

Ces substances se décomposent en présence de l'eau, et forment de nouveaux corps dont l'eau est devenue un des éléments de leur combinaison. On peut représenter le processus d'hydratation par le schéma fondamental suivant (dans lequel «aq» signifie eau):





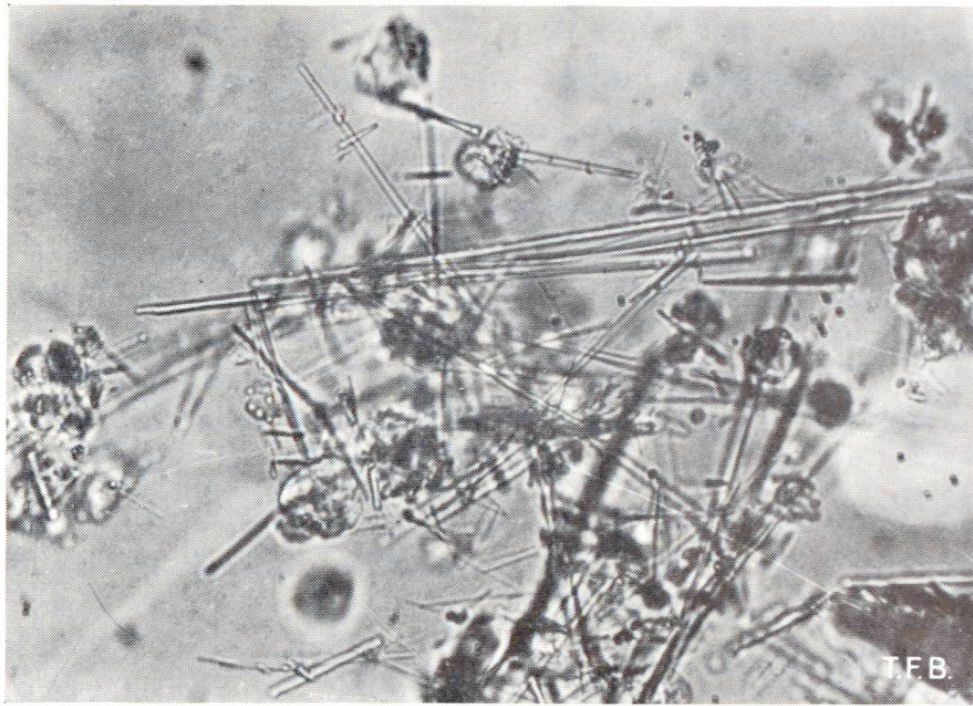


Fig. 5 Microphotographie montrant les longues aiguilles des aluminates, des sulfoaluminates et des ferroaluminates formés après 3 ans de durcissement d'un ciment (grossissement 580 fois)

Si l'on pense que ce schéma ne donne que les grandes lignes d'une série de réactions, où chacune se subdivise en de nombreuses étapes, avec formation de plusieurs produits intermédiaires, si l'on songe en outre que les vitesses de ces réactions sont différentes, on peut se rendre compte à quel point le phénomène d'hydratation est complexe.

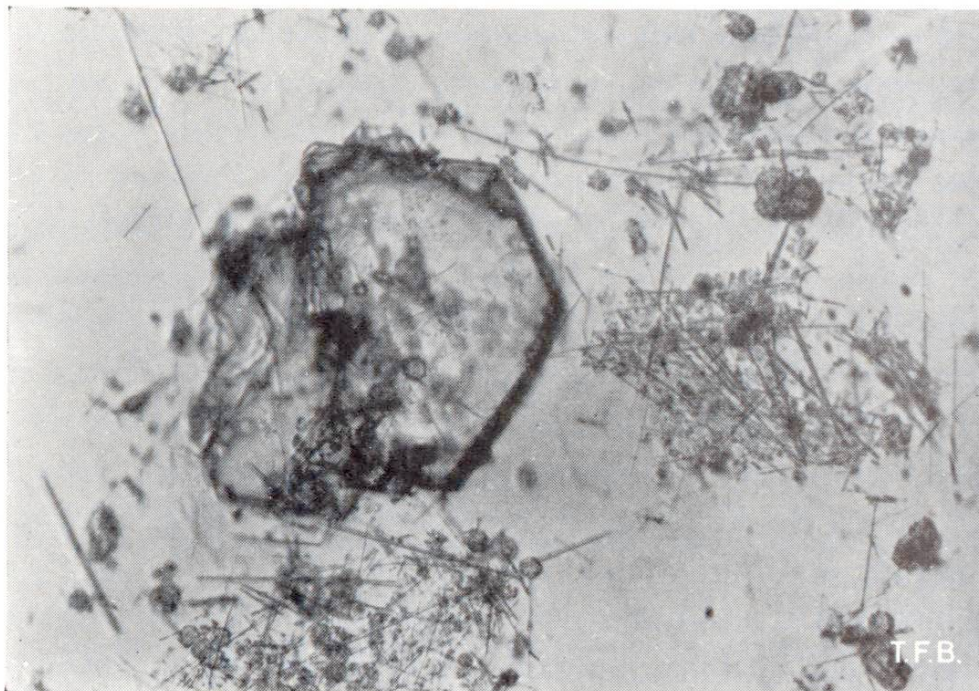


Fig. 6 La photo de la fig. 5 avec un grossissement de 125 fois seulement. On y remarque un cristal hexagonal de chaux libre.



5 Comment se fait-il maintenant que cette série de réactions peut donner à la pâte initiale une résistance telle qu'on obtient un matériau de construction de premier ordre?

Pour expliquer ce processus, Le Châtelier proposa la théorie des cristaux et Michaelis celle des colloïdes. Les recherches modernes montrent que ces deux théories ne sont pas aussi opposées et inconciliables qu'elles le parurent tout d'abord.

Se fondant sur le fait que tous les produits d'hydratation sont peu solubles dans l'eau (ainsi le béton est stable dans l'eau!), Le Châtelier suppose qu'une solution sursaturée de ces produits se forme aux surfaces de contact du ciment et de l'eau. Cette sursaturation provoque une cristallisation rapide, et l'enchevêtrement des cristaux en croissance crée une charpente de plus en plus solide qui donne au mélange la résistance désirée.

Michaelis, dans sa théorie des colloïdes, suppose comme phénomène principal non pas une cristallisation, mais la formation, autour des grains de ciment, d'une couche gélatineuse constituée par les silicates hydrates. Il admet bien qu'une cristallisation se produit également, mais qu'elle n'est pas la cause du durcissement. Dans la chimie des colloïdes, une telle masse gélatineuse est appelée un gel, terme que nous utiliserons aussi.

Autrefois, on croyait qu'un colloïde, formé de particules très ténues, représentait une substance amorphe (non cristallisée), et c'est pourquoi les deux théories semblaient en complète contradiction. Mais aujourd'hui, cette contradiction tend à s'atténuer, car on sait que des substances divisées en particules très fines peuvent aussi être cristallines. Cependant, il paraît peu vraisemblable que le durcissement soit le résultat de l'enchevêtrement des cristaux. Il semble plus probable que l'eau soit utilisée dans des réactions chimiques, et combinée avec des substances solides. En outre, l'eau qui n'a pu être combinée à la surface des grains pénètre à l'intérieur pour y poursuivre le processus d'hydratation. Ainsi, le gel, gorgé d'eau au début, se dessèche progressivement et durcit en diminuant de volume. Il s'y forme alors des pores et des fissures qui augmentent considérablement sa surface interne. Le reste de l'eau se répartit ensuite sur cette grande surface interne, en formant un film très mince dont l'épaisseur a la dimension d'une molécule. De telles couches très minces sont le siège d'attractions moléculaires intenses dont l'ensemble provoque des forces de cohésion considérables. Ces forces peuvent être plus grandes que celles qui unissent les éléments d'un miné-



6 ral naturel, à tel point que la rupture d'un béton durci peu briser les grains de pierre avant de séparer les surfaces qu'elles unissent au sein du mortier.

Le dégagement de chaleur consécutif à la prise et au durcissement du ciment indique bien que des réactions chimiques se produisent au cours de ces phénomènes. La mesure de la chaleur d'hydratation donne donc des indications sur le degré d'hydratation atteint. Les quantités de chaleur dégagée varient dans les limites suivantes:

0 à 3 jours	41 à 90 cal/gr
0 à 7 jours	46 à 97 cal/gr
0 à 28 jours	61 à 109 cal/gr
0 à 90 jours	72 à 114 cal/gr
0 à 180 jours	74 à 116 cal/gr

On a vu au début que l'hydratation est d'autant plus rapide et complète, et que les résistances obtenues sont d'autant plus grandes que le ciment est plus fin. Mais la chaleur libérée sera aussi d'autant plus forte.

L'influence de la température ambiante sur le phénomène de durcissement n'est pas mesurable. On sait cependant que le durcissement est beaucoup plus lent à une température voisine de 0° qu'à 20°. Pour des températures supérieures à 30°, il ne s'accélère plus, mais tend au contraire à se ralentir un peu.

La pratique nous apprend que le ciment ne fait pas prise immédiatement lors du gâchage, mais que le durcissement ne commence qu'après un certain temps. On provoque volontairement ce retard en ajoutant environ 5 % de gypse au ciment. On peut ainsi garantir un retard suffisant pour que le mortier puisse être mis en place avant le début de la prise.