

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Herausgeber:** Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)  
**Band:** 60-61 (1992-1993)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Comportement au feu du béton  
**Autor:** Hermann, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-146305>

### **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

OCTOBRE 1992

60e ANNEE

NUMERO 10

---

## Comportement au feu du béton

Comportement des constructions en béton et en béton armé en cas d'échauffement en général, et d'incendie en particulier.

Le béton ne brûle pas. En cas d'incendie, il ne fond pas et ne dégage ni fumée ni gaz toxiques. C'est le matériau idéal pour faire obstacle à la propagation du feu pendant une durée limitée. Néanmoins, le béton se modifie de façon extrêmement complexe au cours d'un incendie, car normalement, il n'est pas conçu pour résister durablement au feu. Des bétons spéciaux ont été mis au point à cet effet, qui peuvent résister à des températures de service largement supérieures à 1000 °C [1].

On sait par expérience que de nombreuses constructions en béton peuvent encore être utilisées après avoir été endommagées par un incendie [2], à condition toutefois que les dommages subis soient définis avec précision, et que des mesures appropriées soient prises pour les réparer. On peut en dégager les trois points principaux suivants, dont il sera traité successivement dans trois numéros du «Bulletin du ciment»:

- Comportement au feu du béton
- Relevé de l'état du béton endommagé par l'incendie
- Réparation du béton endommagé par l'incendie.

### Action de la chaleur sur le béton

Pendant un incendie, les surfaces du béton sont souvent exposées à des températures entre 500 et 1000 °C. Il en résulte des processus chimiques, physiques et minéralogiques, qui concernent aussi bien la pâte de ciment durcie que les granulats. Ces processus dépendent des différents composants du béton, de son taux d'humidité, de

2 l'intensité et de la durée de l'action de la chaleur, et de nombreux autres facteurs. Les observations présentées ci-après se rapportent généralement à un béton «normal».

Les essais faits en laboratoire ne sont pas forcément représentatifs du comportement au feu du béton, mais ils donnent toutefois de précieuses indications sur les modifications qui se produisent. Des résultats provenant d'essais d'échauffement aux micro-ondes [3] et de mesures thermiques différentielles (analyses de réactions qui, en cas d'échauffement, sont liées à des tonalités thermiques) [4] sont résumés dans le *tableau 1*. Il en ressort que des réactions et des transformations apparaissent dans le béton, et en l'occurrence principalement dans la pâte de ciment durcie, à des températures relativement basses déjà. A de basses températures, ce sont surtout des réactions de déshydratation.

Il va de soi que les transformations décrites dans le *tableau 1* se répercutent sur les propriétés physiques du béton, le plus souvent négativement. Il faut retenir que, même endommagé, le béton agit en tant que couche isolante, qui protège le noyau porteur du plein effet des hautes températures [6]. Lorsque des surfaces de béton sont exposées à une température ambiante de 1000 °C, ce n'est qu'après deux heures que la température de 300 °C, généralement considérée comme critique, est atteinte à une profondeur de 5 cm. (Le béton

<i>Zone de températures</i>	<i>Modifications dans le béton</i>
à partir d'env. 100 °C	L'eau s'est évaporée des macropores.
à partir d'env. 150 à 180 °C	L'eau d'hydratation de l'hydroxyde de calcium est libérée; la pâte de ciment durcie se contracte, et les granulats se dilatent.
à partir de 400 à 500 °C	L'hydroxyde de calcium se décompose: $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
à partir de 570 °C	Transformation spontanée du quartz $\alpha$ en quartz $\beta$ .
à partir d'env. 700 °C	Les phases d'hydrate de silicate de calcium se décomposent: $\text{CSH} \rightarrow \beta\text{-CSH}$
à partir d'env. 800 °C	La neutralisation du calcaire s'amorce: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
de 1150 à 1200 °C	Le béton commence à fondre (la pâte de ciment d'abord, les granulats ensuite).
au-dessus de 1300 à 1400 °C	Le béton se présente sous forme de masse fondue.

Tab. 1. Comportement du béton en cas d'échauffement [3, 4].

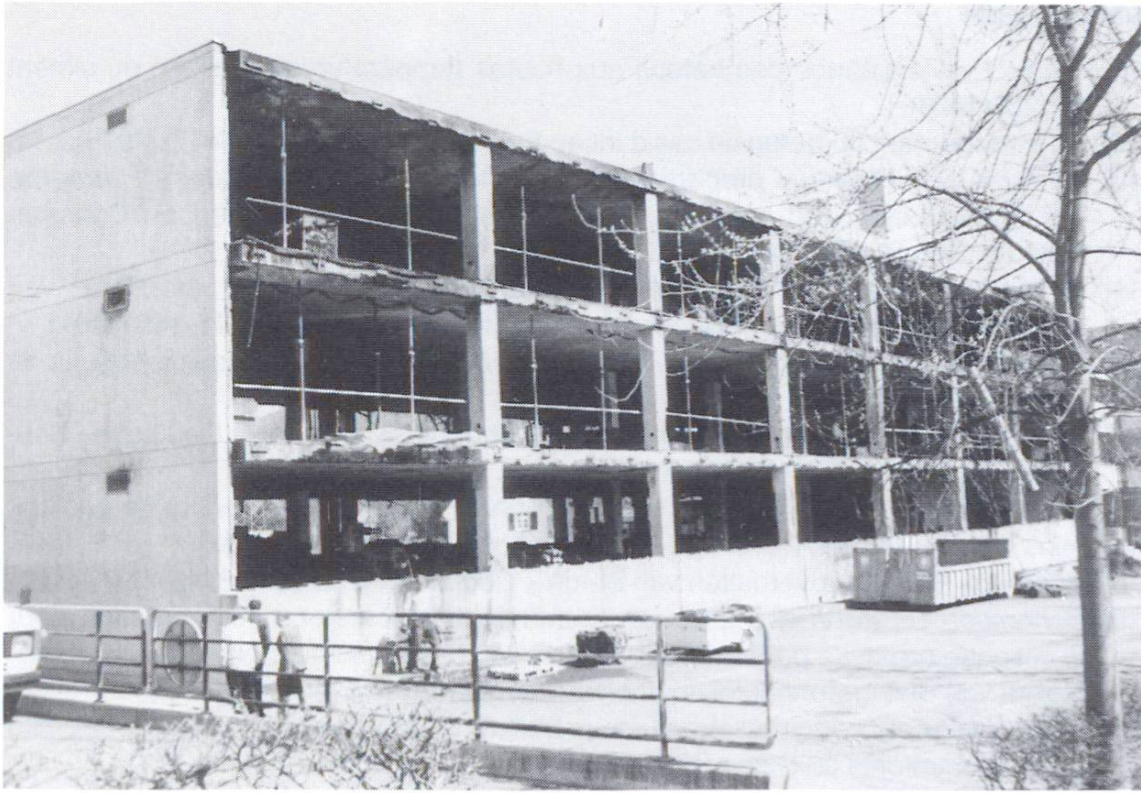


Fig. 1. Une entreprise de plasturgie après l'incendie: la charpente en béton armé fortement sollicitée a fait ses preuves.

(Photos: Service de Prévention d'Incendie pour l'industrie et l'artisanat, SPI, Zurich)

léger avec granulats en argile expansée satisfait même à de plus hautes exigences [5].) Les effets négatifs de la chaleur mentionnés ci-après ne s'exercent en général que sur une couche externe de 3 à 5 cm d'épaisseur [6].

Jusqu'à 200 °C, la diminution de la résistance à la compression du béton est assez faible, mais elle devient plus rapide à des températures supérieures et, à 300 °C déjà, elle peut atteindre 30 % de la valeur initiale. A partir de cette température, la pâte de ciment durcie, qui s'est d'abord légèrement dilatée, se contracte, alors que les granulats se dilatent – plus ou moins fortement selon leur genre – à toutes ces températures. Ces processus contraires provoquent des contraintes de cisaillement et des fissures, qui amoindrissent non seulement la résistance à la traction, mais également la résistance à la compression. Alors que le module d'élasticité diminue, la déformabilité augmente [6, 7].

Après un incendie, ce sont les éclatements qui ont des effets négatifs sur l'état général d'un bâtiment. Ceux-ci se produisent fréquemment sous forme d'explosions pendant les premières 30 minutes de l'incendie. On l'explique par les états de contrainte interne dus aux forts gradients thermiques (mauvaise conductibilité thermique du béton) et à la pression de la vapeur dans les pores fermés. Les forces de frottement résultant de la vapeur d'eau qui se dégage des parois des pores peuvent éventuellement aussi en être une cause. A des

4 phases ultérieures de l'incendie, des couches de béton peuvent en outre se détacher uniquement en raison de la destruction continue de la structure du béton [8].

La transformation de l'hydroxyde de calcium en oxyde de calcium, intervenant à partir de 400 °C environ, a également des conséquences préjudiciables pour la résistance mécanique (*tableau 1*): après refroidissement, l'oxyde de calcium réagit de nouveau à l'eau. L'augmentation de volume qui en résulte entraîne la désagrégation du béton.

### Effets de l'incendie sur le béton armé

Les charpentes en béton armé, même soumises à de fortes contraintes comme dans les maisons-tours par exemple, ont remarquablement fait leurs preuves lors d'incendies. Le béton étant un mauvais conducteur de chaleur, il protège bien l'armature contre une contrainte thermique excessive, même à un stade très avancé des transformations dues à la chaleur. Si l'action de la chaleur dure suffisamment longtemps, ou que le recouvrement de béton éclate, des dégâts irréversibles à l'acier et une diminution de l'adhérence béton-acier sont inévitables.

Une fois qu'ils ont été portés à de hautes températures, les aciers d'armature témoignent généralement, après refroidissement, de résistances mécaniques plus faibles [8–10]. Ces pertes sont minimales pour les aciers autotrempeants. Les aciers de traitement retrouvent aussi à peu près leur résistance initiale après avoir été portés à



Fig. 2. Vue intérieure du bâtiment incendié de la *figure 1*.

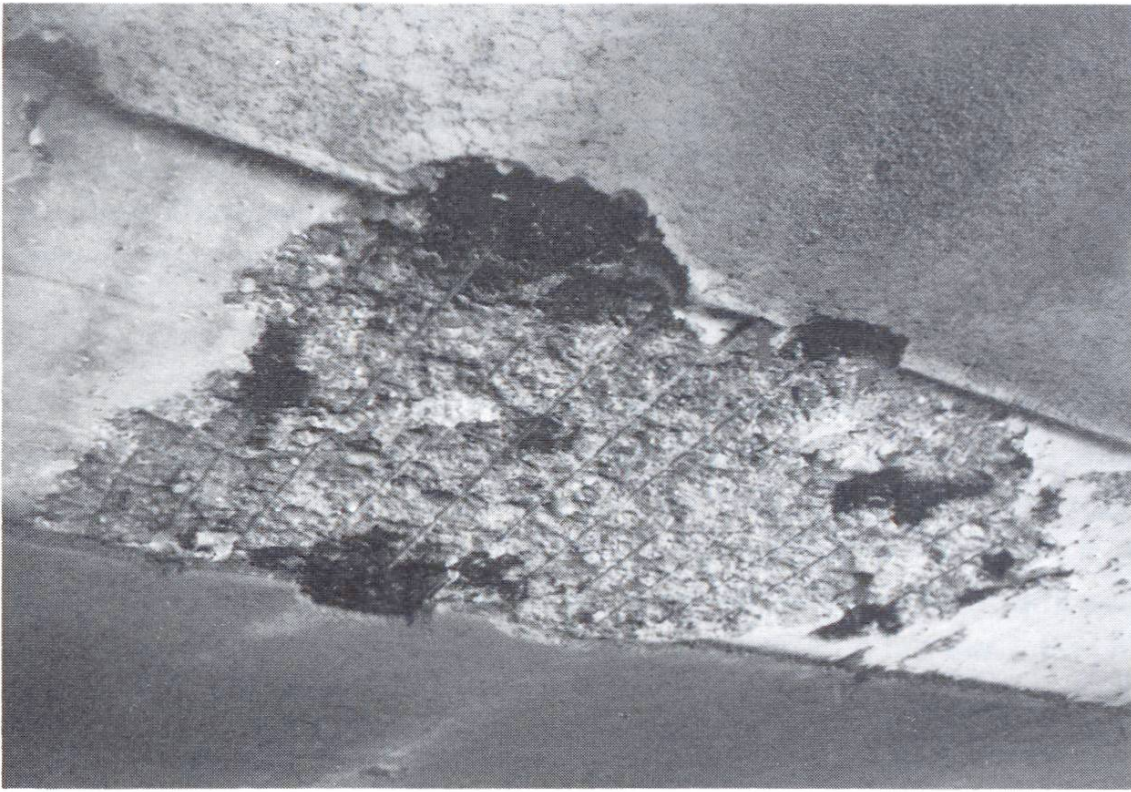


Fig. 3. Béton éclaté sur le dessous d'une dalle, par suite d'un trop fort dégagement de chaleur.

300 °C, mais pas s'ils ont été portés à 500 °C. Par contre, les aciers étirés à froid perdent de leur résistance à partir de 300 °C déjà [8]. Soumis à un effort de traction, l'acier atteint sa limite élastique apparente vers 500 °C; il ne peut plus alors reprendre des forces essentielles. Pour l'acier précontraint, la température critique n'est souvent que de 350 °C [6].

Il faut également tenir compte de l'effet de trempe que l'eau utilisée pour éteindre le feu a sur les armatures mises à nu. Un effet qui, selon le genre d'acier, se traduit par une fragilisation, ou même un écrouissage [11]. A de hautes températures, la dilatation thermique de l'acier est plus élevée que celle du béton. Il en résulte des contraintes qui, dans les angles surtout, peuvent provoquer l'éclatement de parties du recouvrement de béton [6].

Lorsque de hautes températures arrivent jusqu'à l'acier, l'adhérence béton-acier se dégrade. On constate une nette dégradation à partir de 150 °C déjà, et à 500 °C, la résistance d'adhérence est pratiquement nulle.

En cas d'incendies à propagation limitée, il faut également prendre en considération les interactions avec les éléments de construction non échauffés. Des contraintes additionnelles et des déplacements de charge localisés, dont on ne tient généralement pas compte pour la construction, peuvent provoquer des fissures et des déformations trop fortes dans des éléments non exposés à l'action du feu. Nous ne

6 pouvons toutefois pas traiter ici des effets complexes de l'action combinée de l'ensemble d'une construction.

Le risque de dommages est particulièrement grand pour les constructions en béton précontraint, surtout si elles ont été exécutées avec des fils et torons étirés à froid. En cas d'échauffement, la précontrainte peut en effet même augmenter, avant de lâcher lorsque la limite d'élasticité apparente est atteinte.

### **Dommages qui ne sont pas dus aux températures élevées**

Lors d'incendies, les dommages causés par la corrosion due au chlorure d'hydrogène (HCl) libéré, c'est-à-dire à l'acide chlorydrique qu'il engendre lorsqu'il entre en contact avec de l'eau, sont souvent plus importants que les dommages causés par l'incendie proprement dit [12]. Cela est dû aux nombreuses matières synthétiques chlorées, PVC en premier lieu, des revêtements de sol, tuyaux, gaines de câbles, feuilles d'emballage et de bien d'autres produits se trouvant dans les entreprises et les ménages. Il faut également tenir compte des ignifugeants chlorés ou bromés ajoutés aux matières synthétiques, exemptes d'halogène en elles-mêmes.



Fig. 4. Eclatement du béton sur un pilier incendié.

7 Le PVC lui-même est difficilement inflammable. En se consumant, il élimine à partir de 200 °C environ du HCl, qui intervient partiellement dans les réactions chimiques se produisant dans la matière synthétique, et exerce ainsi une action auto-extinctrice. Lors d'incendies, cet effet positif est toutefois annihilé dans une large mesure par les dommages que causent les vapeurs de HCl qui pénètrent dans le béton.

La profondeur de pénétration des solutions chlorurées dépend beaucoup de l'état du béton: une augmentation du volume des vides et une destruction de la structure (éclatements et fissures) favorisent une pénétration en profondeur. Une réaction avec l'hydroxyde de calcium se trouvant dans la matrice du béton engendre du chlorure de calcium facilement diluable à l'eau, lequel, dans un béton peu endommagé par l'incendie, peut parvenir à une éventuelle armature – souvent après des mois et des années seulement –, en empruntant les pores comme voies et l'eau comme véhicule. En présence d'oxygène, ce processus entraîne finalement de très sérieux dommages par corrosion. L'armature ne risque rien si le taux de chlorure ne dépasse pas 0,40 pour cent de la masse (rapportée au ciment); pour le béton précontraint avec adhérence directe, cette quantité se réduit à 0,20 pour cent de la masse [6, 12].

*Kurt Hermann*



## 8 Bibliographie

- [1] *Trüb, U.*, «Résistance des bétons aux hautes températures», Bulletin du ciment **47** [23] (1979).
- [2] «Comportement du béton en cas d'incendie», Bulletin du ciment **44** [7] (1976).
- [3] *Hertz, K. D.*, «Residual properties of concrete heated rapidly», dans *Harmathy, T. Z.*, «Evaluation and repair of fire damage to concrete», American Concrete Institute, Detroit (Mi.), pages 143–152 (1986).
- [4] *Schneider, U.*, et *Diederichs, U.*, «Physikalische Eigenschaften von Beton von 20 °C bis zum Schmelzen, Betonwerk+Fertigteil-Technik **47** [3], 141–149 (1981).
- [5] *Piguet, A.*, «La lutte contre l'incendie commence au niveau du projet», Bulletin du ciment **49** [20] (1981).
- [6] *Ruffert, G.*, «Brandschäden an Stahlbetonkonstruktionen», Deutsche Bauzeitschrift **39** [11], 1659–1668 (1991).
- [7] *Schneider, U.*, «Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen», série de publications du «Deutscher Ausschuss für Stahlbeton», numéro **337** (1982).
- [8] *Zumbühl, R.*, «Brandverhalten von Beton», Documentation SIA **83**, 45–50 (1984).
- [9] *Schneider, U.*, «Brandschäden an Stahlbetonbauwerken», documentation pour le colloque organisé par Haus der Technik eV, Essen, sur le thème «Reparaturfähigkeit von Stahlbetonbauteilen nach einem Brand», le 5 mai 1988.
- [10] «Fire design of concrete structures», Bulletin d'information no **208** du Comité Euro-International du Béton (1991).
- [11] *Haksever, A.*, et *Krampf, L.*, «Möglichkeiten, nachträglich die in einem Betonteil während eines Schadenfeuers aufgetretenen Temperaturen abzuschätzen», série de publications du «Deutscher Ausschuss für Stahlbeton», numéro **352**, 35–65 (1984).
- [12] *Wesche, K.*, *Neroth, G.*, et *Weber, J. W.*, «Eindringen von Chlorid-Ionen aus PVC-Abbrand in Stahlbetonteile», série de publications du «Deutscher Ausschuss für Stahlbeton», numéro **352**, 81–101 (1984).

**Traduction française:** Liliane Béguin