

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 10 (1976)

Artikel: Considérations sur l'étude théorique du comportement à l'incendie des structures en béton armé

Autor: Dotreppe, J.C. / Baus, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-10529>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.01.2026

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

Considérations sur l'étude théorique du comportement à l'incendie des structures en béton armé

Theoretische Betrachtungen zum Brandverhalten von Stahlbetonbauten

Considerations on the Theoretical Study of Reinforced Concrete Structures under Fire

J.C. DOTREPPE

Chargé de Recherches au F.N.R.S. Professeur Ordinaire
Université de Liège
Liège, Belgique

R. BAUS

1. INTRODUCTION.

Le calcul au feu des structures en béton armé est un problème très complexe. D'une part, l'étude de la propagation de la chaleur dans les éléments en béton est difficile, par suite de la grande massivité des sections droites et de la faible conductivité thermique du béton. D'autre part, le comportement des structures en béton armé est complexe, par suite de la fissuration et du comportement non linéaire du béton, celui-ci étant de plus fonction de la température. C'est pourquoi nous estimons que l'étude théorique de ce problème doit se faire à partir de techniques de calcul évoluées, telles que celles décrites dans le Rapport Préliminaire [1], [6].

Dans cet article, on présente un code de calcul basé sur la méthode des éléments finis, qui est particulièrement bien adaptée à la résolution de ce type de problème. Cependant, nous avons adopté une discréétisation plus poussée, de manière à prendre en compte les différences de comportement du matériau.

2. CALCUL DE L'EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DANS LES ELEMENTS.

Le problème de la répartition de la température dans le béton a une importance considérable. En effet, si la distribution de la température est mal évaluée, le calcul de la résistance au feu sera automatiquement erroné.

Dans le Rapport Préliminaire [4], nous avons indiqué les méthodes utilisées pour résoudre ce problème. Dans le cas des structures en béton, il n'est pas possible de procéder aux mêmes simplifications que dans le cas des structures en acier [2], et il est nécessaire de recourir aux techniques numériques décrites dans la référence précitée.

En ce qui concerne les propriétés thermiques du béton, il faut noter que la conductivité thermique λ décroît avec la température. Des valeurs de 1,5 ou 1,6 kgcal/m.h. $^{\circ}$ C sont couramment admises à 0 $^{\circ}$ C, tandis qu'elles tombent à 0,8 vers 1000 $^{\circ}$ C. Il faut cependant signaler que des expériences récentes effectuées à l'Université de Gand ont conduit à des valeurs de λ beaucoup plus élevées aux températures modérées (2,8 pour le béton de gravier). La dilatation thermique du béton α augmente avec la température jusqu'à 400 $^{\circ}$ C environ, puis elle ne varie plus guère. La capacité thermique c ne varie guère avec la température, sauf aux environs de 100 $^{\circ}$ C, par suite des phénomènes endothermiques apparaissant à cette température. Néanmoins, il est assez malaisé de tenir compte de cette particularité dans un modèle mathématique.

3. CALCUL DE LA RESISTANCE AU FEU DES POUTRES EN BETON ARME

Le code de calcul utilisé est basé sur la méthode des éléments finis (cfr. figure 1). Une discréétisation supplémentaire est obtenue en divisant l'élément de structure en petits éléments parallélipipédiques (figure 2). Le comportement peut varier d'un élément à l'autre, ce qui permet de tenir compte des différentes hétérogénéités. On obtient alors une discréétisation très poussée, et la technique de calcul est assez proche de celle utilisée par le Professeur BRESLER et le "Fire Research Group" de Berkeley [1]

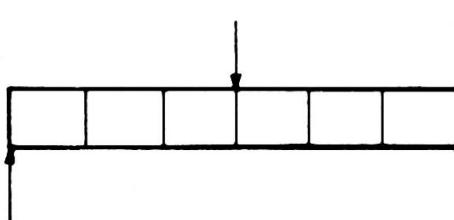


Figure 1

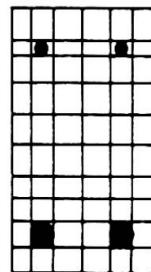


Figure 2

A partir des résultats fournis par l'étude thermique mentionnée au paragraphe précédent, il s'agit de calculer les déformations progressives de la poutre jusqu'au moment où l'on atteint la ruine par effondrement du système.

Deux phénomènes sont à la base de cette augmentation progressive des déformations :

- 1) L'augmentation de la température entraîne des effets thermiques qui dépendent fortement du mode d'appui de la poutre. Il faut noter que, dans le cas des structures en béton et contrairement à ce qui se produit pour les structures en acier, il existe toujours un gradient thermique important sur la section droite, par suite de la mauvaise conductivité thermique du béton.

S'il s'agit d'une poutre sur deux appuis simples, il apparaît des dilatations thermiques importantes qui consistent en :

- un allongement de la pièce ;
- des déformations de flexion.

Ces déformations thermiques se font sans apparition de contraintes dans le matériau si la distribution de la température sur la section droite est linéaire ; dans le cas contraire, il y a toujours apparition de contraintes thermiques, mais celles-ci restent généralement assez faibles.

Si, au contraire, il s'agit d'une poutre biencastrée, des contraintes thermiques importantes sont induites dans la structure, par suite de l'apparition de moments et d'efforts normaux de bridage aux appuis. Les déformations thermiques, par contre, restent faibles.

Dans le cas d'un élément isostatique, les calculs sont basés sur les formules de la thermoélasticité. Considérons une poutre de section quelconque, à comportement élastique, soumise à une distribution arbitraire de température sur la section droite. Les contraintes thermiques en un point d'ordonnée z sont données par la formule :

$$\sigma = -\alpha E \theta + \frac{P}{A} + \frac{Mz}{I} \quad (1)$$

avec A = aire transversale
 I = moment d'inertie
 α = coefficient de dilatation thermique
 P et M ont pour expression :

$$P = \int_A \alpha E \theta dA \quad M = \int_A \alpha E \theta z dA \quad (2)$$

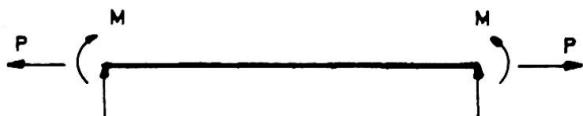


Figure 3

En ce qui concerne les déplacements dus aux effets thermiques, ils sont identiques à ceux de la même poutre soumise à une charge axiale P et à des moments d'extrémité M.

Dans le cas de la discréétisation envisagée, les formules précédentes doivent être modifiées, pour tenir compte du fait que les propriétés varient d'un point à l'autre en fonction de la température. Les expressions donnant P et M deviennent :

$$P = \sum_{i=1}^p \alpha_i E_i \theta_i A_i \quad M = \sum_{i=1}^p \alpha_i E_i \theta_i z_i A_i \quad (3)$$

où p désigne le nombre d'éléments parallélipipédiques.

Il faut noter ici que P et M ne sont pas rigoureusement constants le long de la poutre. De plus, comme le comportement du matériau n'est pas élastique, le calcul doit être fait pas à pas, en l'envisageant comme une succession de calculs élastiques.

2) L'augmentation de la température sur la section droite amène aussi une diminution des propriétés mécaniques du béton et de l'acier (résistance et module d'élasticité). Il en résulte que, sous charge constante, les déformations du système augmentent et la ruine se produit lorsqu'on dépasse la capacité portante de la poutre.

La prise en compte de ce phénomène ne présente pas trop de difficulté grâce à la discréétisation adoptée. En effet, la rigidité de chaque élément $[K]$ est la somme des rigidités des p parallélipipèdes $[K_i]$. Chacune de ces rigidités dépend du module d'élasticité du matériau qui est fonction de la température $E_i = E(\theta_i)$: il diminue lorsque la température augmente. Il en résulte que les rigidités $[K_i]$ diminuent, donc aussi la rigidité $[K]$ de chaque élément et la rigidité globale de la structure.

Le calcul des rigidités est effectué par un procédé d'intégration numérique.

4. EXEMPLE D'APPLICATION

Les propositions précédentes sont illustrées par un exemple de calcul. Il s'agit d'une poutre sur deux appuis simples qui a été testée au Laboratoire Herpol de l'Université de Gand. Les dimensions de la pièce et le mode de chargement sont indiqués à la figure 4, tandis que les dimensions transversales et la position des armatures sont données à la figure 5.

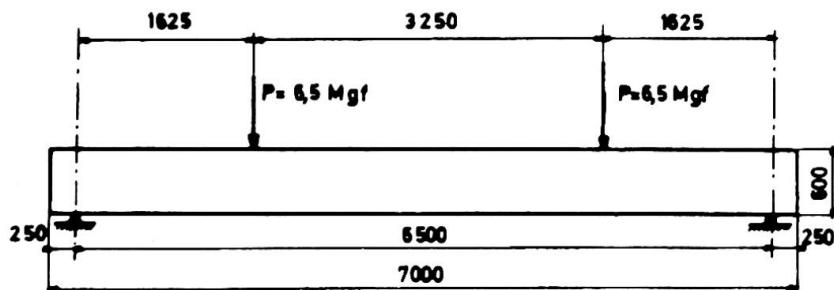


Figure 4

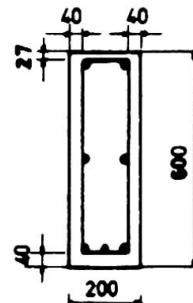


Figure 5

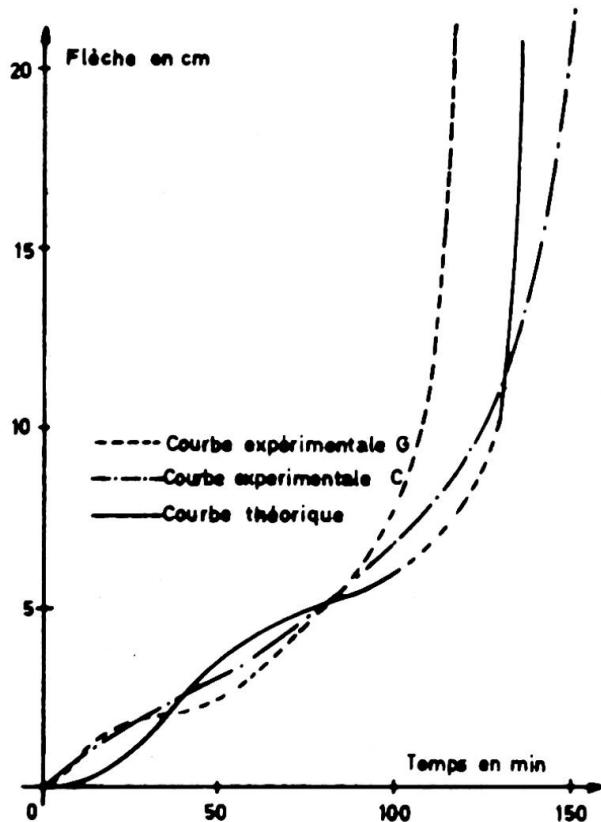


Figure 6

Une analyse par éléments finis a été réalisée pour la détermination de la distribution de la température (cf. [4]). On a noté une bonne concordance avec les résultats expérimentaux. La figure 6 donne l'évolution de la flèche en fonction du temps lorsque la température dans le four s'élève. Il y a deux courbes expérimentales, car deux types de béton ont été utilisés pour confectionner les poutres. On peut noter que les résultats obtenus avec notre modèle sont très satisfaisants.

5. CONCLUSIONS.

Les considérations développées dans cet article montrent l'intérêt des méthodes numériques pour la prévision par le calcul du comportement à l'incendie des structures en béton armé. Les résultats obtenus pour les poutres isostatiques sont très encourageants.

En ce qui concerne les poutres hyperstatiques, des recherches sont actuellement en cours, car l'évolution des moments de bridage aux appuis semble dépendre fortement du fluage à chaud du béton.

BIBLIOGRAPHIE.

- [¹] BRESLER, B. : Response of Reinforced Concrete Frames to Fire. Rapport Préliminaire, 10ème Congrès de l'AIPC, Tokyo, Septembre 1976. pp.273-280.
- [²] DOTREPPE, J-C. : Modèles Mathématiques pour le Comportement à l'Incendie des Structures. Séminaire UTI-CISCO "La Sécurité de la Construction face à l'Incendie", Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Novembre 1975.
- [³] DOTREPPE, J-C. : Prévision par le Calcul du Comportement à l'Incendie des Structures Simples. Rapport de biennale (1973-1975) effectué dans le cadre des recherches de la Commission nationale belge "Recherche-Incendie", Service des Ponts et Charpentes, Liège, Mars 1976.
- [⁴] DOTREPPE, J-C, et HOGGE, M. : Détermination par la Méthode des Eléments Finis des Evolutions de Température pour les Structures Soumises à l'Incendie. Rapport Préliminaire, 10ème Congrès de l'AIPC, Tokyo, Septembre 1976, pp.213-218.
- [⁵] Méthode de Prévision par le Calcul du Comportement au Feu des Structures en Béton (D.T.U. Feu). Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris, Octobre 1974.
- [⁶] KORDINA, K., et KLINGSCH, W. : Tragverhalten Brandbeanspruchter Bauteile. Rapport Préliminaire, 10ème Congrès de l'AIPC, Tokyo, Septembre 1976, pp. 287-292.
- [⁷] PETTERSSON, O. : Theoretical Design of Fire Exposed Structures. Séminaire UTI-CISCO "La Sécurité de la Construction face à l'Incendie", Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Novembre 1975.

RESUME

On présente un modèle mathématique pour l'évaluation de la résistance au feu des éléments en béton armé. Ce modèle est basé sur la méthode des éléments finis, mais une discrétisation plus poussée est utilisée pour prendre en compte les différences de comportement des matériaux. Les résultats obtenus pour les poutres isostatiques sont très encourageants.

ZUSAMMENFASSUNG

Man stellt ein mathematisches Modell zur Untersuchung des Feuerwiderstandes von Stahlbetonelementen vor. Dieses Modell stützt sich auf die Methode der finiten Elemente; man benutzt aber eine feinere Einteilung, um die Unterschiede im Materialverhalten berücksichtigen zu können. Für einfache Balken sind die erreichten Ergebnisse vielversprechend.

SUMMARY

A mathematical model is presented for the evaluation of the fire resistance of reinforced concrete elements. This model is based on the finite element method, but a more refined discretization is used to take into account the various material behaviours. The results obtained for isostatic beams are very promising.