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

Band: 10 (1976)

Artikel: Calcul automatique de la réstance au feu des ossatures métalliques

Autor: Massonnet, A. / Dotreppe, J.C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-10524

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: 08.08.2025

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

Calcul automatique de la résistance au feu des ossatures métalliques

Automatische Berechnung des Feuerwiderstandes von Stahlbauten

Automatic Computation of Fire Resistance of Steel Structures

A. MASSONNET
Ingénieur Civil des Constructions

J.C. DOTREPPE
Chargé de Recherches au F.N.R.S.

Université de Liège
Liège, Belgique

1. INTRODUCTION.

Dans cet article, on présente un code de calcul permettant d'évaluer, de manière automatique, la résistance au feu des ossatures métalliques protégées et non protégées.

Le comportement au feu des structures métalliques présente un certain nombre de caractéristiques qui permettent l'utilisation de techniques de calcul particulières, analogues à celles utilisées pour le calcul à la ruine des structures métalliques ordinaires. Le procédé s'apparente aux méthodes de l'analyse limite des ossatures en acier doux, basées sur le concept de rotule plastique.

Le calcul de l'évolution de la température dans les éléments se fait de manière simple en admettant que la température est uniforme sur la section droite.

2. CALCUL DE L'ELEVATION DE LA TEMPERATURE DANS LES PROFILS.

Dans le Rapport Préliminaire [5], on a indiqué la technique utilisée pour le calcul de l'évolution de la température dans les éléments soumis à l'incendie. En règle générale, il s'agit de résoudre l'équation de Fourier, assortie de conditions aux limites de différents types.

Dans le cas d'un profilé en acier, le calcul des températures peut être fortement simplifié, par suite des valeurs élevées de la conductivité thermique λ . L'hypothèse simplificatrice consiste à admettre que la température du profilé est uniforme. Cette hypothèse est plausible dans le cas des profilés ordinaires en double tê, par suite de la minceur de l'âme et des semelles et de la grande surface exposée au feu.

2.1. Cas d'un profilé non protégé.

Soit un élément de volume dV soumis à un flux de chaleur Q. Le bilan calorifique de cet élément s'écrit (cf. figure 1) :

$$Q\, dA = c\rho \frac{\partial \theta}{\partial t}\, dV \qquad (1)$$

où dA est la surface extérieure de l'élément.

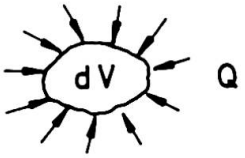

Figure 1

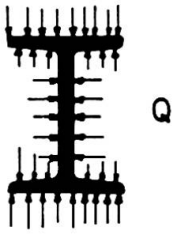

Figure 2

Le même bilan peut s'écrire en ce qui concerne un profilé métallique non protégé, puisqu'on suppose que les calories absorbées se répartissent instantanément de manière uniforme dans toute la masse de l'acier (figure 2). L'équation (1) s'écrit alors :

$$Q \frac{U}{F} = c\rho \frac{\partial\theta}{\partial t} \qquad (2)$$

dans laquelle apparaît le facteur de massiveté $\frac{U}{F}$.

En passant aux différences finies et en explicitant la densité de flux de chaleur Q, on obtient une équation de résolution permettant de calculer pas à pas la courbe de montée en température du profil [2] [4].

2.2. Cas d'un profilé protégé.

Le calcul de la réponse thermique des structures protégées peut être effectué à différents degrés de raffinement.

La méthode la plus simple envisage un bilan thermique restreint ne concernant que l'acier, dans lequel U est la surface intérieure de l'isolant qui constitue, pour le profilé, la surface émettrice. La massiveté $\frac{U}{F}$ devient donc dépendante du type de protection.

Dans ce cas, il est nécessaire de faire un certain nombre d'hypothèses concernant la répartition de la température dans l'isolant pour calculer les échanges et les propriétés thermiques moyennes du matériau de protection. On peut alors résoudre l'équation obtenue par itérations comme précédemment.

De telles méthodes ne fournissent des résultats satisfaisants que dans le cas de produits secs et pour des épaisseurs de protection relativement faibles. Pour des problèmes où l'inertie thermique de l'isolant n'est pas négligeable, il faut s'orienter vers des méthodes plus raffinées.

Il existe certaines méthodes intermédiaires, comme celle qui consiste à écrire le bilan thermique de la manière suivante :

$$Q\,U = c_a \rho_a \frac{\partial\theta_a}{\partial t} F + c_i \rho_i \frac{\partial\theta_i}{\partial t} L_i e_i \qquad (3)$$

où a se rapporte à l'acier et i à l'isolant.
L_i est la longueur de la fibre moyenne de l'isolant.

Dans ce cas, on peut encore aboutir à une équation en différences finies explicites.

Il faut cependant noter que ces méthodes se heurtent généralement à la méconnaissance des valeurs suffisamment précises de la chaleur spécifique des isolants courants.

3. CALCUL AUTOMATIQUE DE LA RESISTANCE AU FEU DE L'OSSATURE.

Pour pouvoir utiliser les théories classiques de l'analyse limite pour le calcul de la résistance au feu du système, il est indispensable de conserver la notion de rotule plastique, donc d'adopter un diagramme contrainte-déformation élastique parfaitement plastique aux différentes températures (figure 3). La limite élastique R_e décroît alors avec la température suivant une loi connue.

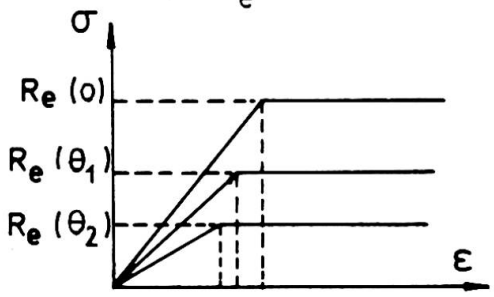

Figure 3

Il s'agit en réalité d'une approximation. Des résultats expérimentaux dus à Magnusson [7] ont en effet montré que le diagramme contrainte-déformation tend à devenir non linéaire aux hautes températures.

Une autre hypothèse concerne la répartition longitudinale de la température dans les profilés.

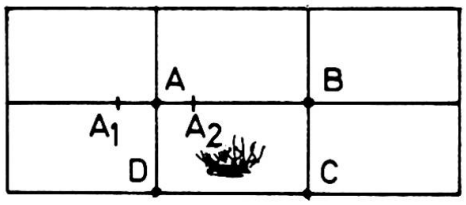

Figure 4

A la figure 4, on a représenté une maille incendiée dans une ossature (ABCD). Dans ce cas, on admet généralement que, pour chacun des éléments AB, BC, CD, DA se trouvant dans la zone incendiée, la température est uniforme d'un bout à l'autre. Aux extrémités A, B, C, D, la température varie brusquement lorsqu'on passe d'une zone incendiée à une zone non incendiée.

Les calculs que nous avons effectués montrent que la distance $A_1 A_2$ sur laquelle se produit le gradient thermique est généralement petite, ce qui justifie l'hypothèse admise.

Pour résoudre ce problème de manière automatique, il existe deux types de méthodes : les méthodes pas à pas et celles utilisant les techniques de la programmation mathématique. Nous avons donné la préférence aux méthodes pas à pas, qui paraissent mieux adaptées ici. En effet, le problème dépend de plusieurs paramètres ; pour le résoudre, il faut le décomposer en une succession de problèmes dépendant d'un seul paramètre.

La solution apportée est une solution du premier ordre, en ce sens que l'on n'a pas tenu compte des effets P.Δ. On a cependant prévu une vérification des colonnes au flambement.

La ruine détectée par le code de calcul correspond à l'apparition d'un des phénomènes suivants :

- formation d'un mécanisme d'ensemble ou local (mécanisme de poutre) ;
- instabilité d'une colonne comprimée et fléchie ;
- plastification par effort normal d'un élément massif.

En ce sens, le programme est entièrement automatique : il indique la formation successive des rotules plastiques, l'instant où ces rotules se forment et la durée de résistance au feu, correspondant à la formation d'un des mécanismes de ruine précités.

4. EXEMPLE D'APPLICATION.

Les considérations précédentes sont illustrées par le calcul de la résistance au feu d'un building de 3 étages. Les caractéristiques de l'ossature sont données à la figure 5.

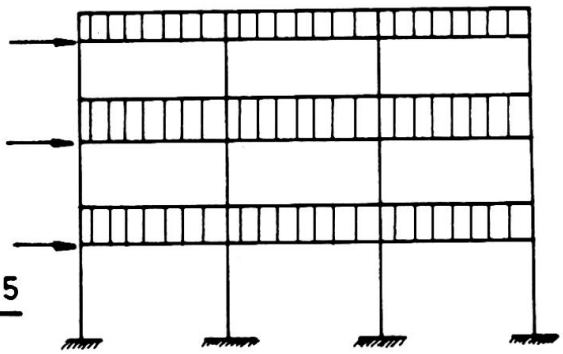

Figure 5

Protection :	box - casing vermitecta	2cm
Charges :	vert.	hor.
toit	4 T/m	1 T
étages	5,8 T/m	2T

Deux cas différents d'incendies sont examinés. Dans le premier (cfr. figure 6), l'incendie se développe dans la cellule centrale inférieure. La rupture se produit par instabilité de la colonne indiquée après 1 h 23' d'incendie, alors que la température dans l'acier est de 475°. Dans le deuxième cas (cfr. figure 7), un premier foyer se déclare, puis 30 minutes plus tard, l'incendie se propage dans la cellule supérieure. Comme les éléments concernés sont beaucoup moins sollicités, la ruine n'apparaît qu'après 2 h 25', alors que la température dans l'acier est de 730°C.

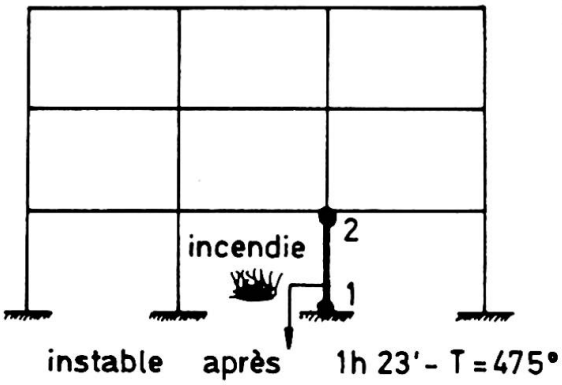

Figure 6

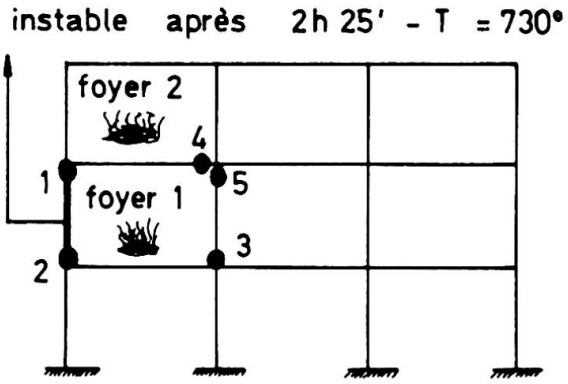

Figure 7

5. CONCLUSIONS.

Cet article fait apparaître l'intérêt des méthodes de simulation pour le calcul de la résistance au feu des structures. L'exemple précédent montre qu'on ne peut pas assimiler la résistance d'un élément essayé isolément à celle qu'il présente dans une ossature complexe. Il met en évidence l'importance de certains facteurs, comme le taux de travail des éléments et la localisation de l'incendie.

BIBLIOGRAPHIE.

[1] BEYER, R., KLINGMÜLLER, O., und THIERAUF, G. : Der Feuerwiderstand stählerner Rahmentragwerke. Ansätze zur Berechnung des Brandlastfalles. Rapport Préliminaire, Symposium de l'AIPC sur les Structures en Acier et Mixtes Conçues pour l'Usage, Dresden, 1975, pp.217-223.

[2] BROZZETTI, J. : Les Principes et les Bases de la Justification par le Calcul du Comportement au Feu des Structures Métalliques. Séminaire UTI-CISCO "La Sécurité de la Construction face à l'Incendie", Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Novembre 1975.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] LESCOUARC'H, Y. : Programme de Calcul Elasto-plastique des Structures à Barres parla Méthode Pas-à-pas. Document CTICM 2-09-03.

[7] PETTERSSON, O., MAGNUSSON, S.E., and THOR,J.: Fire Engineering Design of Steel Structures. Manual issued by the Swedish Institute of Steel Construction, Stockholm, 1976.

[8] SFINTESCO, D. : Calcul et Conception des Structures Métalliques ou Mixtes en vue de leur Résistance à l'Incendie. Rapport Introductif, 10ème Congrès de l'AIPC, Tokyo, Septembre 1976, pp. 125-140.

RESUME

On présente une méthode théorique pour le calcul automatique de la résistance au feu des ossatures métalliques protégées et non protégées. Le procédé utilisé est apparenté aux méthodes de l'analyse limite des ossatures en acier doux, basées sur le concept de rotule plastique. Un exemple d'application fait apparaître que le choix d'une température critique unique n'est pas réaliste.

ZUSAMMENFASSUNG

Man stellt ein theoretisches Verfahren vor, um den Feuerwiderstand geschützter und ungeschützter Stahlbauten automatisch zu berechnen. Dieses Verfahren ist mit dem Traglastverfahren verwandt (plastische Gelenke). Ein Beispiel zeigt, dass die Wahl einer einzigen kritischen Temperatur unrealistisch ist.

SUMMARY

A theoretical method is presented for the automatic computation of the fire resistance of protected and unprotected steel structures. The procedure used is rather similar to the method of the limit analysis of steel structures, based on the concept of plastic hinge. An example shows that it is not realistic to adopt only one critical temperature.