



Les Rapports Techniques ISO sont réexaminés tous les trois ans à partir de la date de leur publication, afin de parvenir à l'accord nécessaire pour la publication d'une Norme Internationale.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION · МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ · ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Principes d'ingénierie des structures compte tenu du feu, particulièrement en ce qui concerne le rapport entre l'exposition à un incendie réel et les conditions d'échauffement dans l'essai de résistance au feu normalisé (ISO 834)

Principles of structural fire-engineering design with special regard to the connection between real fire exposure and the heating conditions of the standard fire-resistance test (ISO 834)

AVANT-PROPOS

Le Rapport Technique 3956 a été établi par le Comité Technique ISO/TC 92, Essais de comportement au feu des matériaux de construction et des éléments de bâtiments, et approuvé par la majorité de ses membres. Il s'agit d'un document informatif destiné aux utilisateurs de la Norme Internationale ISO 834, Essais de résistance au feu — Éléments de construction, et devant être lu conjointement avec celle-ci.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO/TR 3956:1975 https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/41809f47-b92a-471b-af1f-c3c823b64963/iso-tr-3956-1975

SOMMAIRE

Table with 2 columns: Content and page. Includes sections like Introduction, Objet et domaine d'application, Caractéristiques de base du processus d'évolution du feu, etc.

CDU 69.02 : 699.81 : 620.1

Réf. n° : ISO/TR 3956-1975 (F)

Descripteurs : bâtiment, conception, projet de construction, lutte contre l'incendie, vitesse de combustion, essai de comportement au feu.

© Organisation Internationale de Normalisation, 1975 •

Imprimé en Suisse

Prix basé sur 8 pages

## 0 INTRODUCTION

L'un des objectifs principaux visés par un essai de résistance au feu d'éléments de construction est d'obtenir des résultats qui puissent être employés comme données pour la conception de projets d'ingénierie des structures qui tiennent compte des conditions réelles dans un incendie. Le présent Rapport Technique est destiné à servir de guide pour faciliter la préparation, l'exécution et le rapport d'un essai de résistance au feu, conformément à ce principe, particulièrement en ce qui concerne le rapport entre l'exposition à un incendie réel et les conditions d'échauffement dans l'essai de résistance au feu normalisé conformément à l'ISO 834.

La tendance actuelle des codes et règlements de construction vers des exigences fonctionnelles définies plus exactement augmente la nécessité d'élaborer des méthodes de conception différenciées pour l'ingénierie des structures compte tenu du feu. Pendant les dernières années, plusieurs de ces méthodes de conception ont été publiées. Elles peuvent en général être assignées à l'un de deux groupes d'après leurs données de base sur le processus d'évolution du feu. Les méthodes du premier groupe (voir chapitre 3) sont caractérisées par une procédure de conception qui s'appuie directement sur la courbe température des gaz-temps du processus total d'évolution du feu, spécifiée en détail compte tenu de l'influence de la charge calorifique et des propriétés géométriques, thermiques et de ventilation du local de feu. La caractéristique des méthodes du second groupe (voir chapitre 4) est une procédure de conception qui tient compte de la variation des propriétés de l'évolution du feu pendant une durée de feu « empirique », en liaison avec la courbe température-temps normalisée. Toutes les méthodes comportent la phase de refroidissement.

## 1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent Rapport Technique décrit les caractéristiques de base du processus d'évolution du feu et donne les principes d'ingénierie des structures compte tenu du feu, basés sur des courbes différenciées température des gaz-temps et sur une durée de feu empirique.

(standards.iteh.ai)

## 2 CARACTÉRISTIQUES DE BASE DU PROCESSUS D'ÉVOLUTION DU FEU

Quel que soit le groupe auquel appartient la méthode, une conception d'ingénierie des constructions compte tenu du feu doit être basée sur la connaissance détaillée des caractéristiques du processus d'évolution du feu. Malgré un grand nombre de recherches importantes dont il est fait état dans la littérature, le niveau actuel des connaissances est loin d'être satisfaisant à cet égard.

En l'exprimant simplement, on peut diviser en deux types de comportement les feux dans des locaux, dans leur complète évolution (voir [1]). Pour le premier type, la combustion pendant la phase des flammes dépend de la ventilation du local; la vitesse de combustion est approximativement proportionnelle à l'alimentation en air provenant des ouvertures du local et ne dépend en aucun cas de façon décisive de la quantité, de la porosité et de la forme des particules combustibles. En ce qui concerne le second type, la combustion pendant la phase des flammes dépend des propriétés de la couche de combustible; la vitesse de combustion est déterminée par la quantité, la porosité et la forme des particules combustibles et est largement indépendante de l'alimentation en air provenant des ouvertures. La frontière entre les deux types de comportement n'est pas exactement définie.

Pour les feux qui dépendent de la ventilation, la vitesse moyenne de combustion de la partie active du feu peut être déterminée pour différents type de charge calorifique, y compris le mobilier, avec, dans la plupart des cas, une exactitude suffisante pour permettre, dans la pratique, l'étude des projets de construction. Pour les feux qui dépendent de la couche de combustible dont le comportement est plus compliqué, le niveau actuel des connaissances est trop incomplet pour permettre de calculer, de façon satisfaisante dans la pratique, la vitesse de combustion quand la charge calorifique consiste en meubles dont il est très difficile de définir les propriétés de porosité. Dans un tel cas, il paraît raisonnable actuellement de baser une étude d'ingénierie des structures compte tenu du feu sur des caractéristiques du processus d'évolution du feu déterminées en supposant que le feu dépend de la ventilation. Pour les feux qui dépendent de la couche de combustible, une telle supposition conduit à une étude d'ingénierie compte tenu du feu présentant une sécurité suffisante dans presque tous les cas, du fait qu'elle donne une surestimation du niveau maximal de la température des gaz partiellement compensée par une sous-estimation de la durée de feu.

Une base étendue de courbes température des gaz-temps dans un local de feu, déterminée suivant cette philosophie, est donnée en [2] pour la totalité du processus d'évolution du feu, en faisant des suppositions diverses concernant les caractéristiques géométriques et thermiques du local, le coefficient d'ouverture  $A\sqrt{h}/A_t$  et la charge calorifique  $q$ , où

$A$  est l'aire de la surface totale des ouvertures de fenêtres et de portes du local de feu, en mètres carrés;

$A_t$  est l'aire totale des surfaces entourant le local de feu, en mètres carrés;

$h$  est la valeur moyenne des hauteurs des ouvertures de fenêtres et de portes du local de feu, en mètres, mesurée compte tenu de chaque ouverture individuelle;

$q$  est la quantité de chaleur par unité d'aire de la surface totale entourant le local de feu, en mégacalories<sup>1)</sup> par mètre carré.<sup>2)</sup>

Une illustration fragmentaire des diagrammes présentés en [2] est donnée en figure 1. Les diagrammes sont valables pour un coefficient d'ouverture de  $A\sqrt{h}/A_t = 0,04 \text{ m}^{1/2}$  et pour un local de feu dont les structures ont une épaisseur de 200 mm et sont constituées par un matériau de conductivité thermique  $\lambda = 0,7 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ <sup>3)</sup>.

Les diagrammes donnent les valeurs moyennes comprises à l'intérieur de la plage des températures rencontrées dans les incendies.

### 3 PRINCIPES D'INGÉNIERIE DES STRUCTURES COMPTE TENU DU FEU, BASÉS DIRECTEMENT SUR DES COURBES DIFFÉRENCIÉES TEMPÉRATURE DES GAZ-TEMPS

Pour une structure porteuse, une étude d'ingénierie des structures basée directement sur des courbes différenciées température des gaz-temps comporte les composants principaux suivants (voir [3] et [4]) :

- Le choix, dans chaque cas particulier, des caractéristiques de combustion représentatives de la charge calorifique.
- La détermination, pour ces caractéristiques de combustion, de la courbe température des gaz-temps et des propriétés de convection et de rayonnement dans la totalité du processus d'évolution du feu, en tenant compte de la géométrie du local, de la forme et de la grandeur des ouvertures de portes et de fenêtres et des caractéristiques thermiques des structures du local.
- La détermination des champs température-temps correspondants dans la structure ou dans l'élément de structure exposé(e) au feu.
- La détermination, sur la base des données conformes à c) et des données relatives aux propriétés de résistance et de déformation des matériaux des structures pour la plage des températures rencontrées dans les incendies, du moment d'effondrement sous la charge prescrite ou, sinon, de la capacité porteuse minimale de la structure ou de l'élément de structure valable pour le processus d'évolution du feu.

Pour le projet d'ingénierie compte tenu du feu d'une structure ou d'un élément de séparation, dans la plupart des cas, le composant d) prévu par l'étude n'entre pas en ligne de compte.

Pour rendre une telle étude d'ingénierie différenciée, compte tenu du feu, pratiquement applicable par l'ingénieur à des constructions, il est nécessaire de compléter la procédure par des diagrammes de conception pour différents types de structure ou d'élément de structure (voir, par exemple, [4] et [5]).

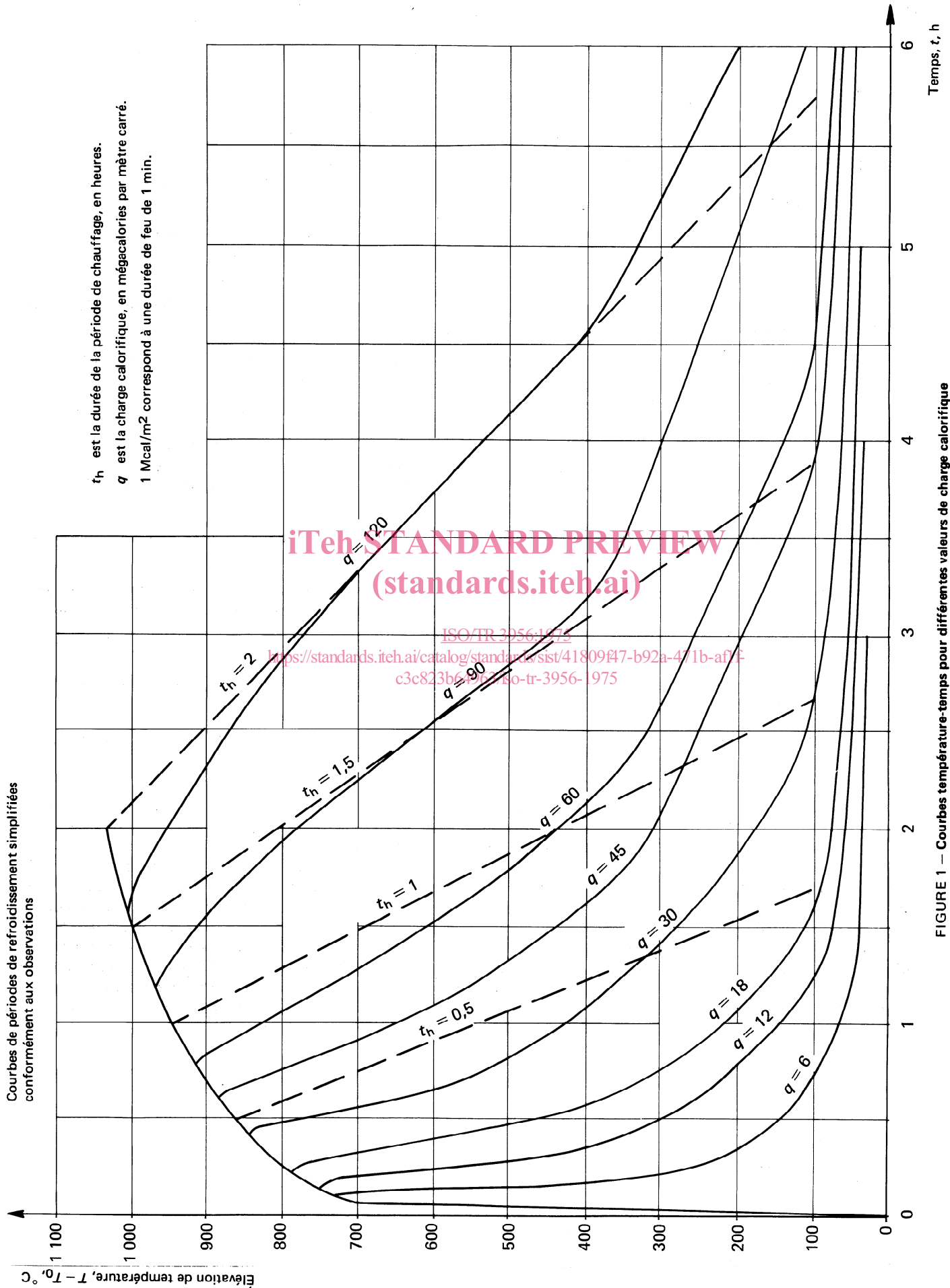
En résumé, une étude d'ingénierie des structures compte tenu du feu, directement basée sur des courbes différenciées température des gaz-temps, est caractérisée en particulier par une procédure de conception théorique. Cette procédure n'est pas en relation avec une nécessité de classement et donne un ordre de priorité peu élevé à l'essai de résistance au feu normalisé des éléments de construction. Dans la procédure de conception, les résultats de tels essais normalisés peuvent être appliqués soit pour confirmer, point par point, l'étude théorique, soit pour obtenir les informations de base nécessaires aux calculs. Il peut être nécessaire de procéder à des recherches concernant des courbes température des gaz-temps différentes de la courbe température-temps normalisée; dans de tels cas, où l'information de base dépend des caractéristiques détaillées du processus d'évolution du feu, par exemple des données de base concernant la désintégration des matériaux de construction, de l'effet accru de courte durée de fluage et de contraction, de l'effet de la formation de fissures et d'éclats, du comportement et de la contrainte exercée par les dispositifs d'assujettissement pour différents types d'isolation, et de la vitesse d'accroissement en profondeur de la couche carbonisée des structures en bois. Dans la plupart des cas, les données nécessaires peuvent être déterminées par des expériences beaucoup plus simples que l'essai de résistance au feu normalisé.

1) 1 cal = 4,184 J

2) La charge calorifique correspondante,  $q_c$ , définie d'une manière plus conventionnelle que la quantité de chaleur par unité de surface au sol  $A_f$  ou comme la quantité équivalente de bois par unité de surface au sol  $A_f$ , est alors donnée par les formules

$$q_c = \frac{A_t}{A_f} q \text{ (Mcal/m}^2\text{)} \text{ et } q_c = \frac{A_t}{4,5 A_f} q \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

3)  $1 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}) = \frac{1}{360} \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot\text{K}) = \frac{1}{360} \times 418,4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$



#### 4 PRINCIPES D'INGÉNIERIE DES STRUCTURES COMPTE TENU DU FEU, BASÉS SUR UNE DURÉE DE FEU EMPIRIQUE

La notion « empirique » de durée équivalente de feu a été introduite pour permettre de traduire directement l'exposition à un incendie réel en l'exprimant par l'échauffement correspondant suivant la courbe température-temps normalisée, spécifiée en 4.1.1 de l'ISO 834.

Le caractère de la notion varie suivant le degré d'exactitude recherché. Jusqu'à présent, trois définitions différentes de la durée de feu empirique apparaissent dans la littérature (voir [4], [6] et [9]).

Comme on le voit pour une structure non isolée en acier, exposée au feu, l'une des définitions données en [4] et [6] peut en principe être expliquée conformément à la figure 2 qui montre, par des courbes continues, la variation dans le temps de la température des gaz  $T_t$  et la température de l'acier  $T_s$  correspondant à l'action d'un feu réel, déterminée par la charge calorifique  $q$ , le coefficient d'ouverture  $A\sqrt{h}/A_t$  et les propriétés thermiques des structures du local. Les courbes interrompues indiquent la variation température-temps normalisée  $T_s$  (S.C.<sup>1)</sup>) et la courbe temporelle correspondante de la température  $T_s$  (S.C.<sup>1)</sup>) de la structure en acier. Un transfert de la température maximale de l'acier  $T_{s \max}$ , rencontrée dans le feu réel, à la courbe température-temps normalisée pour  $T_s$  (S.C.<sup>1)</sup>) détermine la durée de feu empirique  $t_{hf}$ .

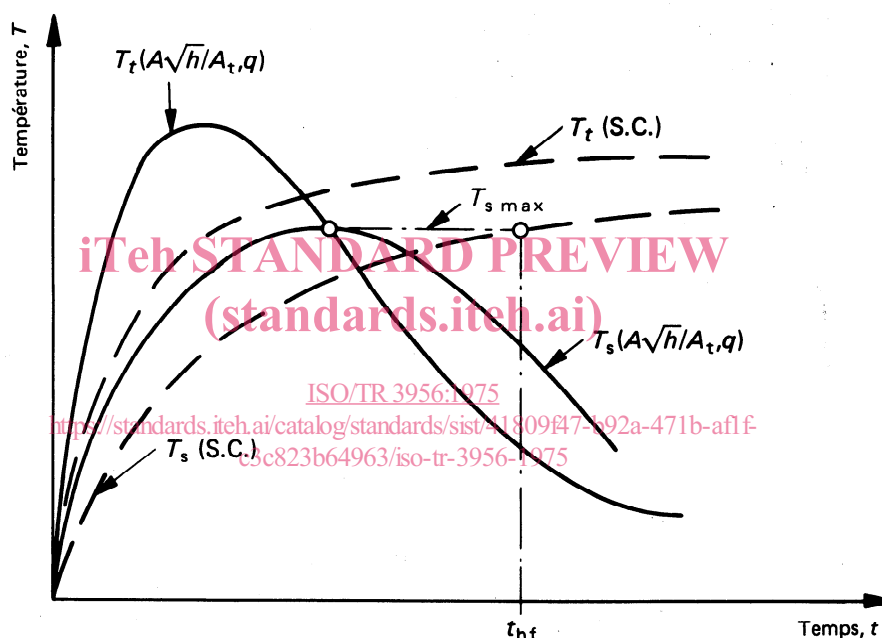


FIGURE 2 – Détermination de la durée de feu empirique à partir des courbes température-temps, normalisée et réelle, pour une structure non isolée en acier, exposée au feu

Il est évident, d'un point de vue fonctionnel, que, lorsqu'elle est définie de cette manière,  $t_{hf}$  est déterminée par la charge calorifique  $q$  et par le coefficient d'ouverture  $A\sqrt{h}/A_t$ , et doit cependant dépendre d'un grand nombre d'influences structurales

- pour une structure isolée en acier : le matériau d'isolation, l'épaisseur de l'isolation, le quotient  $A_i/V_s$  [ $A_i$  étant la moyenne des surfaces (intérieure et extérieure) du revêtement d'isolation, et  $V_s$  le volume de la structure en acier par unité de longueur] et l'émissivité qui en résulte;
- pour une poutre en béton armé de section rectangulaire : la hauteur et la largeur de la section, la distance entre la couche d'armature et la surface exposée au feu, et l'émissivité qui en résulte.

Une manière modifiée de définir la durée de feu empirique  $t_{hf}$  a été présentée en [7] et [8]. Elle s'applique spécialement à des structures isolées en acier, exposées au feu. Parmi les éléments de construction ayant des caractéristiques thermiques variables suivant l'exposition au feu, l'élément choisi est celui qui, pour une courbe température des gaz-temps d'évolution d'un feu réel, donne une température maximale de l'acier dont la valeur est fixée.  $t_{hf}$  est donc déterminée d'après la courbe température-temps normalisée pour le même élément et la même température de l'acier. En répétant cette procédure pour différentes caractéristiques de feux réels, un diagramme peut être établi et appliqué pour déterminer grossièrement une durée de feu empirique  $t_{hf}$  pour une construction isolée en acier, sans tenir compte des propriétés détaillées de la structure.

1) S.C. : Courbe normalisée.

Une troisième manière d'introduire le concept de durée de feu empirique  $t_{hf}$  a été présentée en [9]. La figure 3 en illustre le principe; elle montre, par la courbe continue, la variation dans le temps de la température des gaz  $T_t$  correspondant à un feu réel avec une charge calorifique  $q$  et un coefficient d'ouverture  $A\sqrt{h}/A_t$  et, par la courbe interrompue, la variation  $T_t$  (S.C.) de la courbe température-temps normalisée. Pour un type de structure donné, un niveau de température  $T_{t\ cr}$  est choisi; c'est un niveau critique en ce qui concerne le comportement au feu de la structure et  $t_{hf}$  est alors définie par une condition stipulant que les aires des deux surfaces comprises respectivement entre les courbes respectives température des gaz-temps et le niveau de température  $T_{t\ cr}$  soient égales.

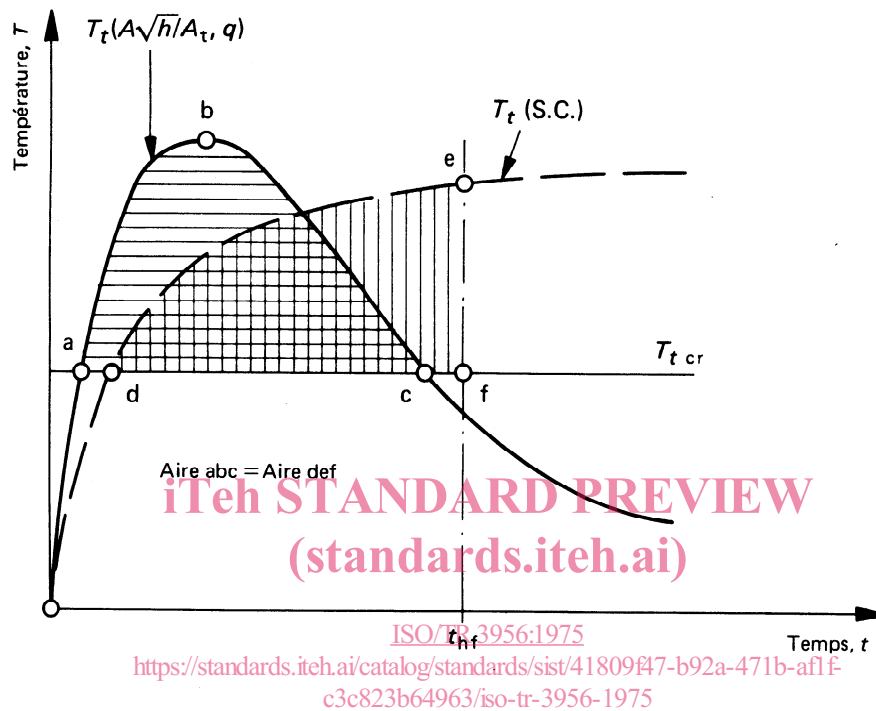
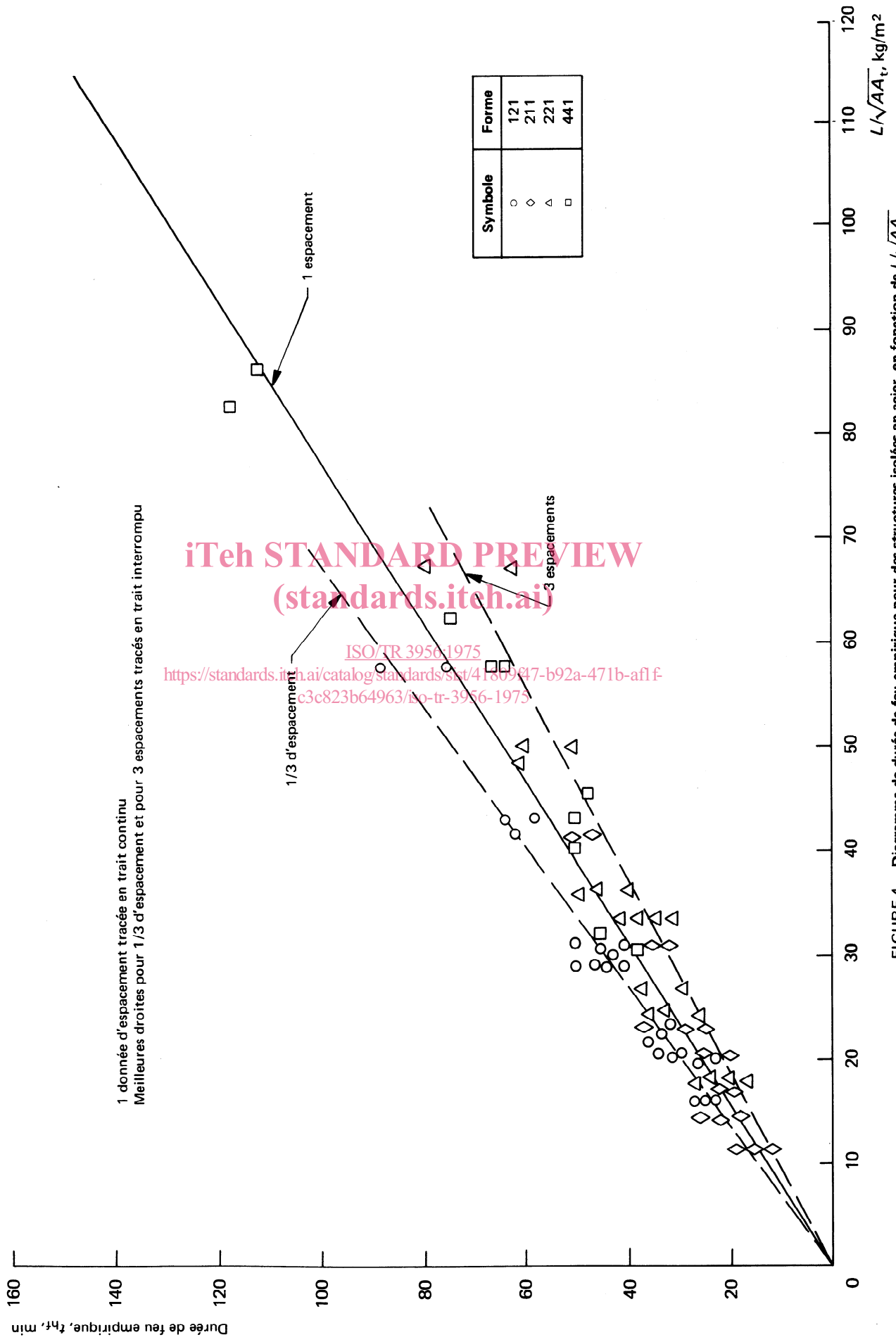


FIGURE 3 – Détermination de la durée de feu empirique selon la méthode des aires égales

La détermination de la durée de feu empirique  $t_{hf}$ , conformément à la deuxième et à la troisième définitions, conduit à des résultats qui sont moins exacts que ceux qui sont obtenus selon une détermination basée sur la première définition de durée de feu empirique. L'un des avantages d'une telle détermination approximative représente le fait que, pour un type de structure donné,  $t_{hf}$  reste indépendante de la conception détaillée de la structure. Cela est illustré par la figure 4 (voir [8]). Elle est basée sur les résultats d'un essai du CIB de recherche à petite échelle très complet relatif au processus d'évolution du feu et qui indique que la durée de feu empirique  $t_{hf}$ , pour des structures isolées en acier, suivant la deuxième définition, est une fonction du paramètre  $L\sqrt{AA_t}$ , où

- $L$  est la charge calorifique totale du local, en kilogrammes, exprimée par la quantité équivalente de bois;
- $A$  est l'aire de la surface totale des ouvertures de portes et de fenêtres, en mètres carrés;
- $A_t$  est l'aire des surfaces internes du local sur lesquelles la chaleur est perdue, en mètres carrés.

La figure 4 donne une plage de variation de  $t_{hf}$  compte tenu des propriétés de porosité variables des charges calorifiques, y compris celles des foyers en bois.



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.itech.ai)

ISO/TR 3956-1975  
<https://standards.itech.ai/catalog/standards/sist/4160947-b92a-471b-af1f-c3c823b64963/iso-tr-3956-1975>

FIGURE 4 – Diagramme de durée de feu empirique pour des structures isolées en acier, en fonction de  $L/\sqrt{AA_t}$

BIBLIOGRAPHIE

- [1] THOMAS, P. H., HESELDEN, A. J. M., LAW, M., *Fully developed compartment fires – Two kinds of behaviour*. Fire Research Technical Paper No. 18, Ministry of Technology and Fire Offices' Committee, Joint Fire Research Organization, Her Majesty's Stationery Office, London, 1967.
- [2] MAGNUSSON, S. E., THELANDERSSON, S., *Temperature-time curves for the complete process of fire development – A theoretical study of wood fuel fires in enclosed spaces*. *Acta Polytechnica Scandinavica*, Civil Engineering and Building Construction Series, No. 65, Stockholm, 1970.
- [3] PETTERSSON, O., *Structural fire engineering research today and tomorrow*. *Acta Polytechnica Scandinavica*, Civil Engineering and Building Construction Series, No. 33, Stockholm, 1965.
- [4] PETTERSSON, O., *The possibilities of predicting the fire behaviour of structures on the basis of data from standard fire resistance tests*. Centre scientifique et technique du bâtiment, colloque sur les principes de la sécurité au feu des structures, à Paris les 2, 3 et 4 juin 1971. Lund, 1970.
- [5] MAGNUSSON, S. E., PETTERSSON, O., *Brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner* [Fire-engineering design of steel structures]. Handbok, issued by Norrbottens Järnverk AB, Lulea, 1970.
- [6] EHM, H., ARNUALT, P., *Vorläufiger versuchsbericht über "Untersuchungen mit natürlichen Branden"*, Europäische Konvention der Stahlbauverbände, Unterkommission 3.1, Oktober 1969.
- [7] BUTCHER, E. G., LAW, M., *Comparison between furnace tests and experimental fires*. *Behaviour of structural steel in fire, Symposium No. 2*, Proceedings of a symposium held at the Fire Research Station, Boreham Wood, Herts., U.K., on 24 Jan. 1967, Her Majesty's Stationery Office, 1968, p. 46.
- [8] THOMAS, P. H., *The fire resistance required to survive a burn out*. Fire Research Note No. 901, Fire Research Station, Boreham Wood, Herts., U.K., November 1970.
- [9] KAWAGOE, K., SEKINE, T., *Estimation of fire temperature-time curve in rooms*. Building Research Institute, Occasional Report No. 11, Tokyo, 1963.
- KAWAGOE, K., *Estimation of fire temperature-time curve in rooms*. Building Research Institute, Research Paper No. 29, Tokyo, 1967.

STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
ISO/TR 3956-1975  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/41809147-892a-4716-a11f-c3c823b64963/iso-tr-3956-1975>