

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
721-2-8**

Première édition
First edition
1994-06

Classification des conditions d'environnement –

Partie 2:

Conditions d'environnement présentes dans
la nature – Section 8: Exposition au feu

Classification of environmental conditions –

Part 2:

Environmental conditions appearing
in nature – Section 8: Fire exposure



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 721-2-8: 1994

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
721-2-8

Première édition
First edition
1994-06

Classification des conditions d'environnement –

Partie 2:

Conditions d'environnement présentes dans
la nature – Section 8: Exposition au feu

Classification of environmental conditions –

Part 2:

Environmental conditions appearing
in nature – Section 8: Fire exposure

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright – all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun pro-
cédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et
les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in
any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopying and microfilm, without permission
in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Référence normative	8
3 Généralités	8
4 Caractéristiques du feu avant l'embrasement éclair	14
5 Caractéristiques du feu après l'embrasement éclair	26
6 Caractéristiques de la fumée et des gaz en tant que produit du feu	36
 Annexe A – Bibliographie	 42

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative reference	9
3 General	9
4 Characteristics of pre-flashover fire	15
5 Characteristics of post-flashover fire	27
6 Characteristics of smoke and gases as a fire product	37
 Annex A – Bibliography	 42

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT -

Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature -
Section 8: Exposition au feu

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 721-2-8 a été établie par le comité d'études 75 de la CEI: Classification des conditions d'environnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
75(BC)98	75(BC)107

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Il est à noter que la présente section appartient à la partie 2 d'une série consacrée aux sujets suivants:

- agents d'environnement et leurs sévérités (CEI 721-1);
- conditions d'environnement présentes dans la nature (CEI 721-2), et
- classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités (CEI 721-3).

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS

**Part 2: Environmental conditions appearing in nature –
Section 8: Fire exposure**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 721-2-8 has been prepared by IEC technical committee 75: Classification of environmental conditions.

The text of this standard is based on the following documents:

DIS	Report on voting
75(CO)98	75(CO)107

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

It should be noted that this section belongs to the second part of a series dealing with the following subjects:

- environmental parameters and their severities (IEC 721-1);
- environmental conditions appearing in nature (IEC 721-2), and
- classification of groups of environmental parameters and their severities (IEC 721-3).

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

La présente section de la CEI 721-2 est prévue pour être utilisée comme une partie donnant des informations de base quand on sélectionne les agents appropriés et leurs sévérités relatifs à l'exposition au feu des produits.

Des informations plus détaillées sur les caractéristiques des conditions de feu peuvent être obtenues dans la documentation spécialisée; quelques-unes d'entre elles sont données dans la bibliographie à l'annexe A.

INTRODUCTION

This section of IEC 721-2 is intended to be used as part of the background information when selecting appropriate parameters and their severities related to exposure of products to fire.

More detailed information on fire condition characteristics may be obtained from specialist documentation, some of which is given in the bibliography, annex A.

CLASSIFICATION DES CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT -

Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature - Section 8: Exposition au feu

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 721-2 couvre les propriétés fondamentales, les grandeurs caractéristiques et une description des conditions d'environnement relatives à la naissance, au développement et à la propagation d'un feu à l'intérieur des bâtiments, et relatives aux produits électrotechniques exposés au feu à l'occasion de leur utilisation en poste fixe.

La présente section traite principalement des conditions prévalant pendant la période qui précède l'inflammation d'un feu, mais les conditions qui suivent l'embrasement éclair sont aussi traitées.

2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 721-2. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 721-2 sont invités à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des normes internationales en vigueur.

ISO/IEC Guide 52: 1990, *Glossaire de termes relatifs au feu et de leurs définitions*

3 Généralités

Un feu démarre dans un local quand une énergie suffisante est fournie au matériau combustible, par exemple, par une cigarette allumée ou un court-circuit électrique, pour que le matériau prenne feu ou quand le matériau lui-même génère suffisamment d'énergie (allumage spontané). Les facteurs décisifs qui influent sur le processus d'allumage sont (voir aussi la figure 1):

- les caractéristiques de la source d'énergie;
- le type et les propriétés géométriques du matériau exposé, et
- le temps d'exposition thermique.

Après allumage le feu produit de l'énergie thermique. Une partie de celle-ci est utilisée en retour pour maintenir la combustion. Une partie est transmise par rayonnement et convection aux autres matériaux et aux produits dans le local qui alors s'échauffent, peuvent prendre feu et contribuer à la propagation du feu (voir la figure 2). Les matériaux combustibles, contenus par exemple dans les bâtiments, prennent normalement feu en phase gazeuse.

CLASSIFICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Section 8: Fire exposure

1 Scope

This section of IEC 721-2 presents fundamental properties, quantities for characterization, and a description of environmental conditions in relation to the occurrence, development and spread of fire within a building, and relevant to electrotechnical products exposed to fire during stationary use.

This section is primarily concerned with conditions during the pre-flashover stage of a fire, but conditions following flashover are also dealt with.

2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 721-2. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 721-2 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document listed below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

ISO/IEC Guide 52: 1990, *Glossary of fire terms and definitions*

3 General

A fire starts in a space when sufficient energy is supplied to combustible material through, for instance, a burning cigarette or an electric short-circuit for the material to ignite, or when the material generates this energy by itself (self-ignition). Decisive influences for the process of ignition are (see also figure 1):

- the characteristics of the source of energy;
- the type and geometrical properties of the exposed material, and
- the thermal exposure time.

After ignition, the fire produces thermal energy. Some of this is used as feedback to maintain combustion. Some of it is transferred via radiation and convection to other materials and products in the space which are then heated, may ignite and contribute to the spread of fire (see figure 2). Combustible material contained in buildings are normally ignited in the gas phase.

Après qu'un feu s'est déclaré à l'intérieur d'un local, son développement et sa propagation sont déterminés par (voir aussi la figure 1):

- le site, le volume et la disposition du combustible ou de la charge calorifique, de sa distribution dans le local, de sa continuité, de sa porosité et de ses propriétés de combustion;
- les conditions aérodynamiques du local;
- la forme et la taille du local; et
- les propriétés thermiques du local.

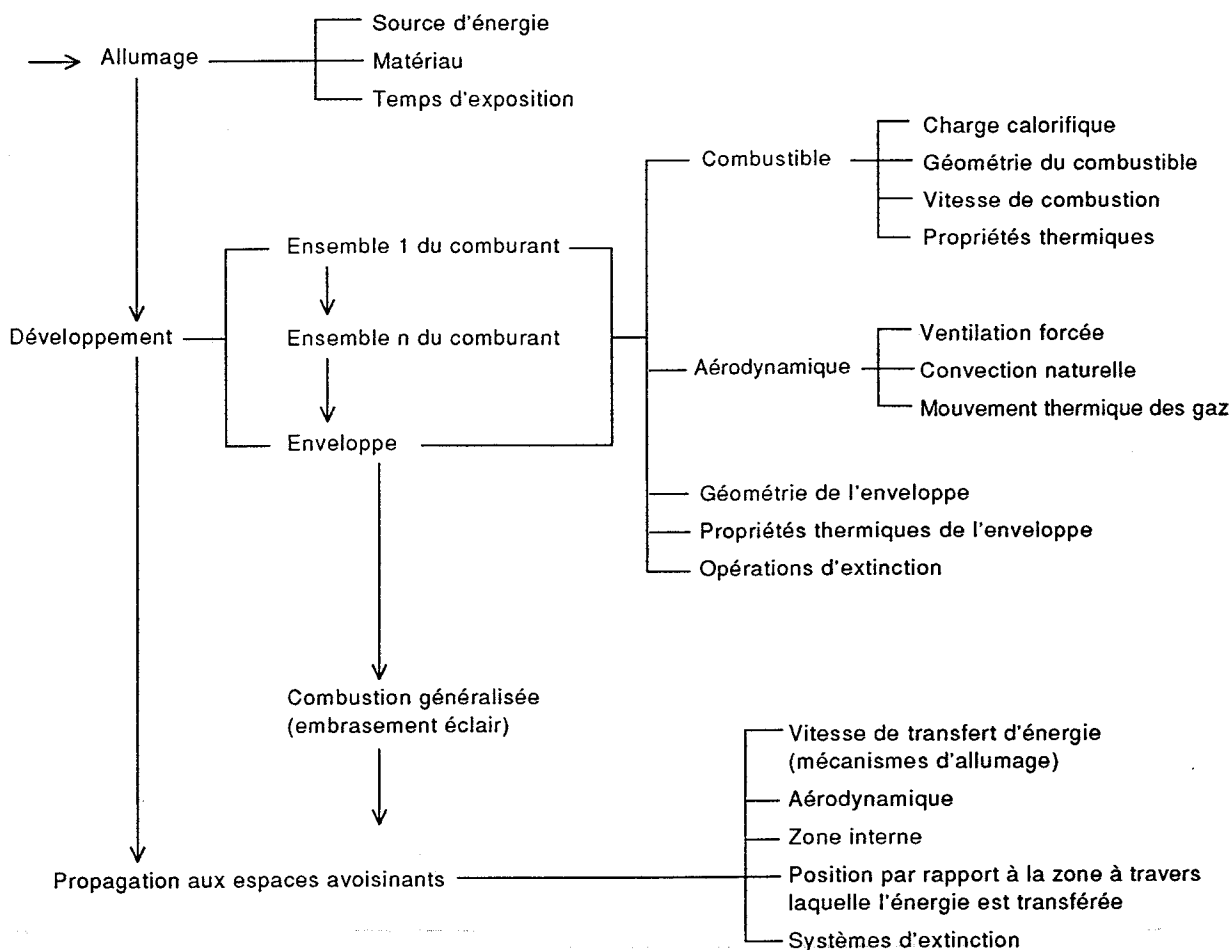


Figure 1 – Facteurs influençant l'allumage, le développement et propagation d'un feu dans un bâtiment. Un ensemble de combustibles est un composant de charge calorifique, par exemple un rideau, un groupe de câbles, un meuble ou un ensemble de meubles dans l'aménagement de bureau

Si un matériel d'extinction est installé, le processus relatif au développement du feu est en outre influencé par:

- la conception et l'état de fonctionnement de ce matériel, par exemple le système de extincteurs.

Le développement du feu comprend généralement des processus thermique, aérodynamique et chimique, commandés par une interaction complexe entre un certain nombre de mécanismes. Comme règles de base, le rayonnement, la convection et la propagation des flammes forment les facteurs physiques dominants.

Once an initial fire has occurred in a space, its growth and spread is determined by (see also figure 1):

- the site, volume and arrangement of the fuel or fire load, its distribution in the space, and its continuity, porosity and combustion properties;
- the aerodynamic conditions of the space;
- the shape and size of the space; and
- the thermal properties of the space.

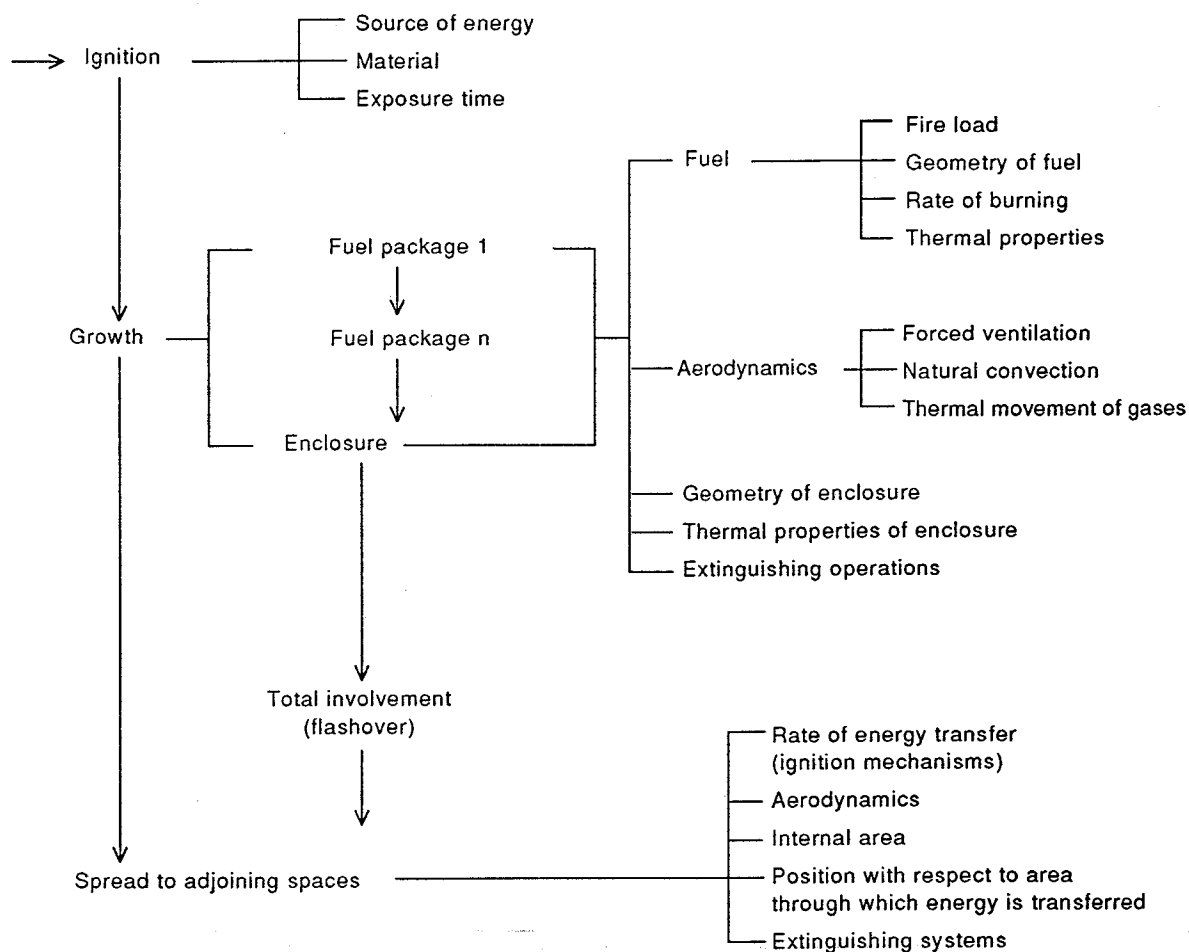


Figure 1 – Factors affecting ignition, growth and spread of fire in a building.
A fuel package is a fire load component, e.g. a curtain, a group of cables, a piece of furniture or a group of furniture in an office landscape

If extinguishing equipment is installed, the fire growth process is further influenced by:

- the design and workability of this equipment, e.g. a sprinkler system.

The development of the fire generally comprises thermal, aerodynamic and chemical processes, governed by a complex interaction between a number of mechanisms. As a rule, radiation, convection and flame spread are the dominant physical factors.

Pendant le développement du feu, une chaude couche gazeuse se forme sous le plafond du local (figure 2). Sous certaines conditions, cette couche gazeuse peut donner naissance à un développement rapide du feu et peut provoquer l'introduction dans la zone de feu de parties importantes de la charge calorifique: l'embrasement éclair survient.

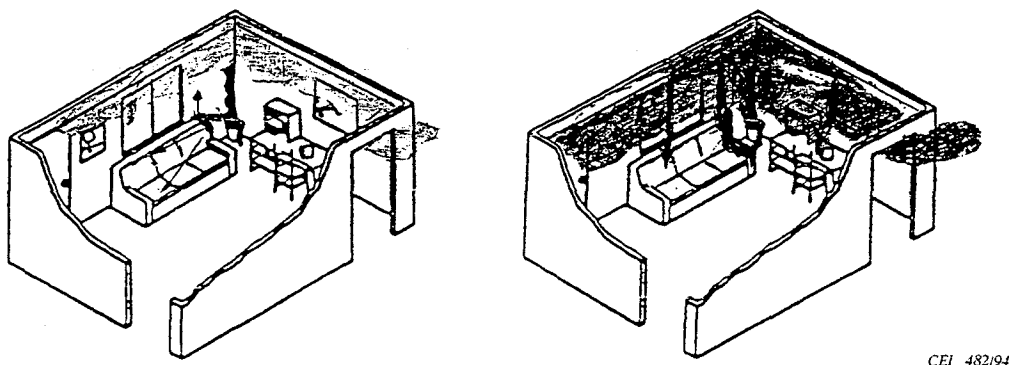


Figure 2 – Naissance du feu et extension dans une pièce

Pour prédire l'embrasement éclair, différents critères ont été introduits. L'un définit l'embrasement éclair comme le moment où les flammes commencent à sortir des ouvertures du local, ce qui est lié, à une température de 500 °C à 600 °C dans la haute couche gazeuse. L'autre critère est lié à un rayonnement critique et calorifique de 20 kW/m² au niveau du plancher de la pièce. D'autres critères existent également. Ils sont tous grossiers et ils correspondent à des circonstances physiques différentes.

Issue des travaux de corrélation sur l'observation de plus d'une centaine d'expériences et d'une étude complémentaire principalement sur l'équilibre des masses et de l'énergie, l'équation (1) suivante a été déduite, pour fournir un guide afin de déterminer la vitesse maximale de dégagement de chaleur admissible pour prévenir l'embrasement éclair dans une pièce ou dans un local spécifiés dont la dimension est en général inférieure à quelques mètres avec des murs et des garnitures de plafond non combustibles:

$$h_{c, \text{perm}} = 19\,300 (\alpha_k A_t A \sqrt{h})^{1/2} \quad (1)$$

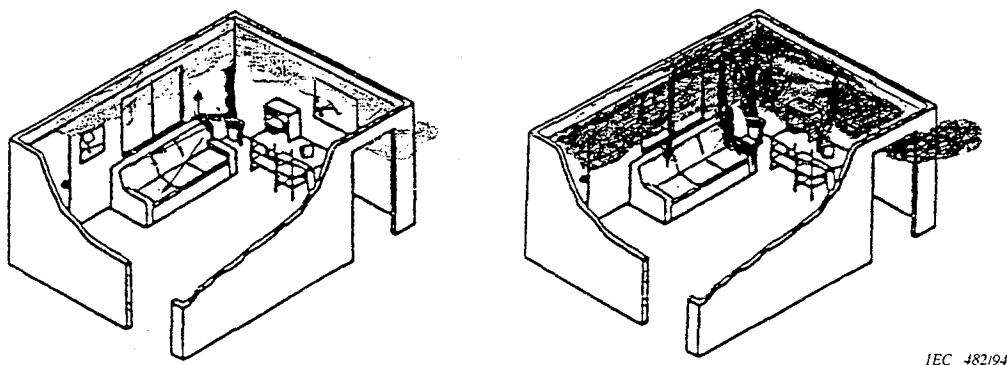
où

- $h_{c, \text{perm}}$ est la vitesse maximale de dégagement de chaleur, en watts (W);
- α_k est le coefficient de transfert effectif de la chaleur à travers les structures englobant la pièce ou le local, en watts par mètre carré (W/m²) et kelvins (K);
- A_t est la surface intérieure totale des espaces englobant la pièce ou le local, ouvertures comprises, en mètres carrés (m²);
- A est la surface d'ouverture totale (m²);
- h est la hauteur des ouvertures, en mètres (m).

L'embrasement éclair marque la transition entre un feu couvant (avant l'embrasement éclair) et un feu pleinement développé (après l'embrasement éclair).

Un feu avant l'embrasement éclair revêt une signification déterminante à l'égard du fonctionnement et des modes d'action des produits vitaux pour maintenir le niveau de sécurité nécessaire à l'évacuation et aux secours du personnel. La réponse des détecteurs, des systèmes d'alarme, des câbles associés et des extincteurs appartiennent à cette période de feu.

During the fire growth, a hot layer of gas is built up under the ceiling of the space (figure 2). Under certain conditions, this gas layer can give rise to a rapid fire growth and an inclusion of large parts of the total fire load in the fire: flashover occurs.



IEC 482/94

Figure 2 – Fire occurrence and spread in a room

To predict flashover, different criteria have been introduced. One defines flashover as the time when flames begin to emerge from the openings of the space which correlates with a temperature of 500 °C to 600 °C in the upper gas layer. Another criterion relates to a critical, resulting radiation at the floor level of the room or space of 20 kW/m². Other criteria also exist. They are all crude and correspond to different physical circumstances.

Based on a correlation of results obtained from over a hundred experiments and on a supplementary study primarily of the energy and mass balances, the following equation (1) was derived to provide guidance in determining the maximum heat release rate permissible in order to prevent flashover in a specified room or space with a typical dimension of less than a few metres and with non-combustible wall and ceiling linings:

$$h_{c, \text{perm}} = 19\,300 (\alpha_k A_t A \sqrt{h})^{1/2} \quad (1)$$

where

- $h_{c, \text{perm}}$ is the maximum heat release rate, in watts (W);
- α_k is an effective heat transfer coefficient of the structures enclosing the room or space, in watts per square metre (W/m²) and kelvins (K);
- A_t is the total interior surface area enclosing the room or space, opening area included, in square metres (m²);
- A is the total opening area (m²);
- h is the height of openings, in metres (m).

Flashover marks the transition from the growing fire (pre-flashover) to the fully developed fire (post-flashover).

The pre-flashover fire is of decisive significance with respect to the operation and function of products vital to maintaining the level of safety required for the escape or rescue of people. The response of detectors, alarm systems, associated cables, and sprinklers belongs to this period of the fire.

Un feu après l'embrasement éclair est significatif pour ce qui concerne le comportement au feu des structures porteuses, la propagation du feu d'un local enflammé à un autre par l'intermédiaire des cloisons et des systèmes d'aération (figure 1), la propagation du feu à l'extérieur, d'un étage à un autre dans un bâtiment, et l'extension du feu d'un bâtiment à un autre. Dans un local vaste, il se peut qu'un feu, petit par rapport à l'espace dans lequel il se trouve, soit suffisamment important pour endommager des éléments de structure mal protégés dans l'état précédant l'embrasement éclair. Le processus complet relatif au feu (aussi bien avant qu'après l'embrasement éclair) est particulièrement important pour le personnel chargé de la lutte contre l'incendie. Finalement, une bonne connaissance d'un feu après l'embrasement éclair est une condition préalable pour évaluer la sécurité de l'équipe d'évacuation et pour analyser la situation résiduelle et les possibilités de réparation ou de réutilisation d'un bâtiment après un feu.

4 Caractéristiques du feu avant l'embrasement éclair

Les caractéristiques fondamentales pour décrire un feu avant l'embrasement éclair sont:

- les propriétés d'allumabilité des matériaux et des produits exposés, celles-ci sont fonction:
 - de la chaleur fournie;
 - du temps d'exposition;
 - de la présence ou non de flammes;
 - de la géométrie de l'installation, et
 - des données thermiques; et
- les variations dans le temps:
 - du débit calorifique (RHR);
 - de la vitesse de propagation des flammes;
 - de la température des gaz;
 - de la fumée et de ses propriétés optiques, et
 - de la composition des produits de combustion, particulièrement des gaz toxiques et corrosifs.

Au sein du TC 92 de l'ISO: Essais au feu des matériaux de construction, des composants et des structures, les essais à petite échelle de réaction au feu des matériaux et produits de construction récemment développés ou en cours de développement, se focalisent directement sur les caractéristiques des feux avant l'embrasement éclair, comme indiqué ci-dessus. En procédant à des actions situées à plusieurs niveaux d'exposition différents, ces essais permettent de déterminer la réponse quantitative d'un matériau ou d'un produit dans des situations variées d'exposition au feu.

L'état actuel du développement de cette nouvelle bibliographie qui donne les réactions des matériaux pour des essais de feu dans des conditions fonctionnellement bien déterminées, se traduit par la liste suivante des normes et des rapports techniques appropriés:

ISO 5657 [20]*; ISO/DIS 5658 [21]; ISO/DIS 5660 [22]; ISO TR 5924 [23]; ISO TR 9122-1 [24].

* Les références entre crochets se rapportent à l'annexe A.

The post-flashover fire is significant for the fire behaviour of the load-bearing structures, the fire spread from one fire space to another via partitions and ventilation systems (figure 1), the external fire spread from one storey to another in a building and the fire spread from one building to another. In a large space it is possible that a fire, small in relation to the space, may be large enough to damage inadequately protected structural elements in the pre-flashover state. The entire fire process – the pre-flashover as well as the post-flashover fire – is of primary concern for the fire fighters. Finally, a qualified knowledge of the post-flashover fire is a prerequisite for assessing the safety of the clearance squad and for an analysis of the residual state and the possibilities of repairing and re-using a building after fire.

4 Characteristics of pre-flashover fire

The fundamental characteristics for a description of pre-flashover fire are:

- the ignitibility properties of exposed materials and products as a function of:
 - the heat supplied;
 - the exposure time;
 - the presence or not of flames;
 - the geometrical location, and
 - thermal data; and
- the time variations of:
 - the rate of heat release (RHR);
 - the rate of flame spread;
 - the gas temperature;
 - the smoke and its optical properties, and
 - the composition of the combustion products, particularly corrosive and toxic gases.

The tests regarding small-scale reaction to fire primarily for building materials and products recently developed or under development within ISO/TC 92: Fire tests on building materials, components and structures, directly focus on the characteristics of pre-flashover fire, as above. By operating at a number of exposure levels, these tests enable a determination of the quantitative response of a material or product to various fire exposure situations.

The present state of the development of this new bibliography of functionally well-defined reaction to fire tests is indicated in the following list of relevant standards and technical reports:

ISO 5657 [20]*; ISO/DIS 5658 [21]; ISO/DIS 5660 [22]; ISO TR 5924 [23]; ISO TR 9122-1 [24].

* Figures in square brackets refer to annex A.

Les publications concernant l'allumabilité, le débit calorifique et la propagation de la flamme sont disponibles pour une utilisation pratique. Le même usage pratique concerne un essai récemment mis au point et relatif à un coin de pièce simplifié, grandeur nature, pour des matériaux de surface - ISO/DIS 9705 [25], cet essai complétant alors la bibliographie relative aux essais à petite échelle. Pour ce qui concerne la fumée et plus particulièrement les produits ayant une combustion toxique, il reste encore à faire d'importants travaux de développement, avant de disposer d'essais utiles et validés à petite échelle.

Les figures 3 et 6 illustrent sommairement la corrélation qui existe entre les caractéristiques fondamentales d'un feu dans un compartiment avant l'embrasement éclair, pour trois sortes de feux différents.

Les figures 3 et 4 font alors référence à des feux dans des compartiments bien ventilés. La figure 3 montre la variation dans le temps de la vitesse de combustion, exprimée par la vitesse de perte de masse, l'oxygène O_2 , le monoxyde de carbone CO , le dioxyde de carbone CO_2 , dans des compartiments à petite échelle avec comme combustible le bois [2]*.

Les concentrations des différents gaz issus du feu sont déterminées par l'utilisation de la technique du spectroscope de Raman qui permet de détecter de manière simultanée tous les gaz à l'intérieur d'un compartiment en feu.

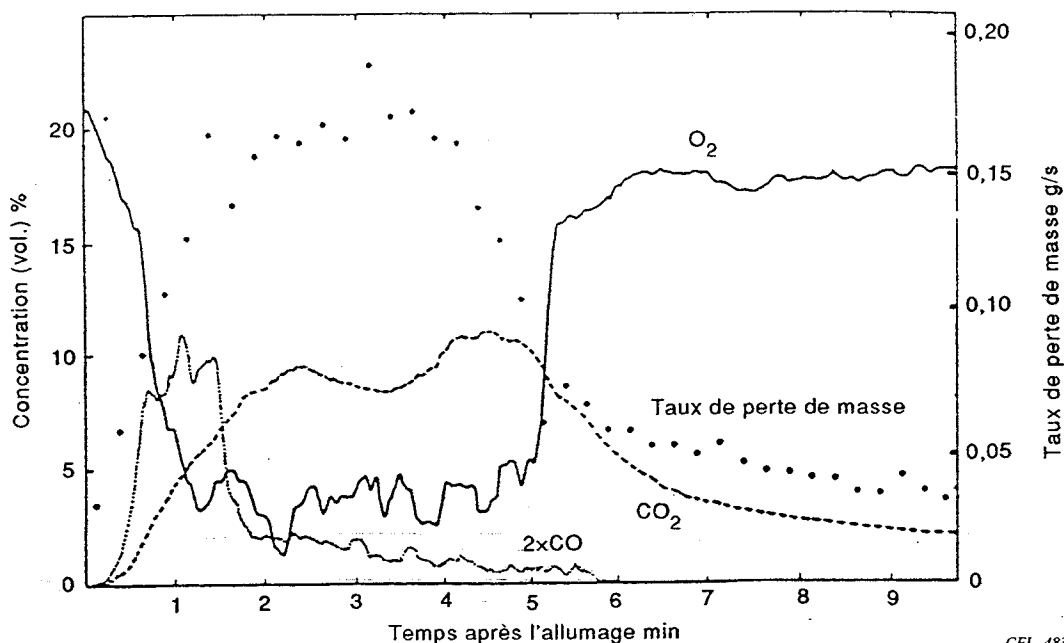


Figure 3 - Variation en fonction du temps de la vitesse de perte de masse (.-.-.), O_2 (—), $2xCO$ (....) et CO_2 (- - -) après allumage pour un feu d'un compartiment à petite échelle avec comme combustible du bois [2]

* Les références entre crochets se rapportent à l'annexe A.

The publications with respect to ignitability, rate of heat release and spread of flame are ready for practical use. The same applies to a recently finalized, simplified full-scale room corner test for surface products – ISO/DIS 9705 [25], supplementing the bibliography of small-scale tests. For smoke, and especially for toxic combustion products, there still remains considerable development work before useful validated small-scale tests are available.

Figures 3 to 6 give a summary illustration of the interrelation between – and practical exposure levels of – the fundamental characteristics of the pre-flashover compartment fire for three different kinds of fire.

Figures 3 and 4 then refer to well-ventilated compartment fires. Figure 3 shows the time variation of the combustion rate, expressed by the mass loss rate, the oxygen O_2 , the carbon monoxide CO , and the carbon dioxide CO_2 for a small-scale compartment fire with wood for fuel [2]*.

The concentrations of different fire gases were determined by a technique using Raman spectroscopy which enables all gases to be detected simultaneously within the fire compartment.

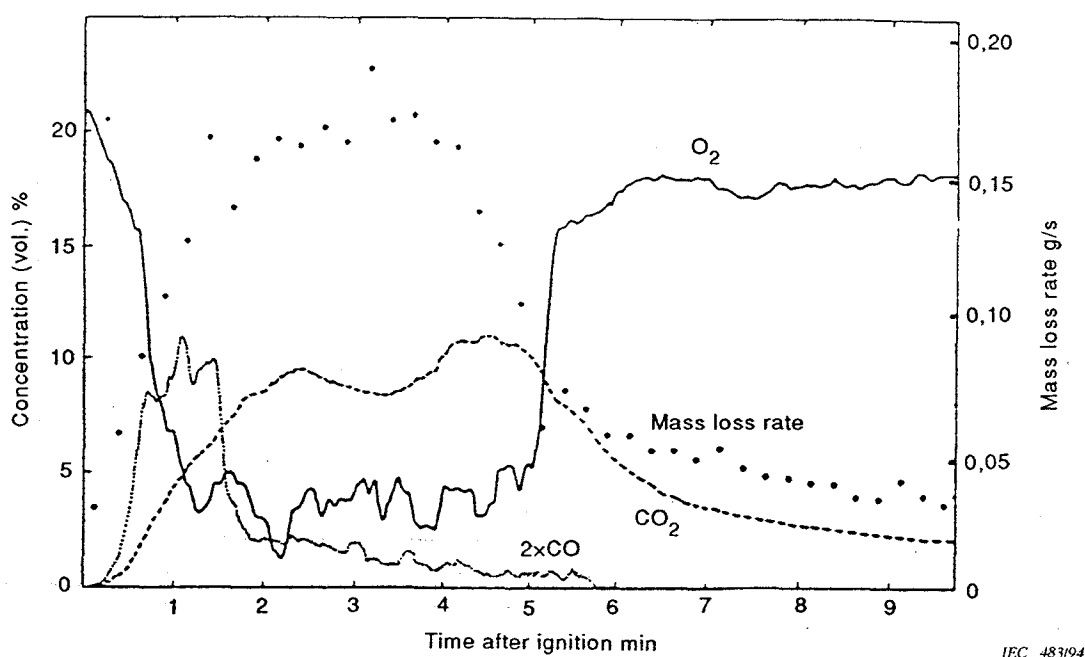
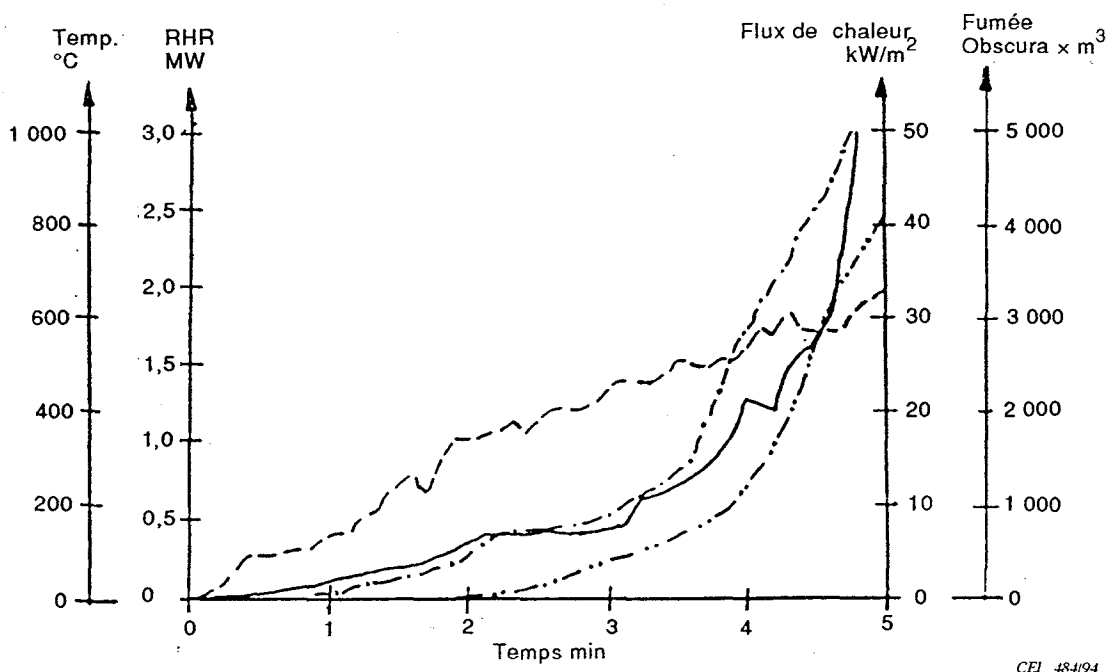


Figure 3 – Variation of mass loss rate (. . .), O_2 (—), $2xCO$ (. . .) and CO_2 (- - -) as a function of time after ignition for a small-scale compartment fire with wood for fuel [2]

* Figures in square brackets refer to annex A.



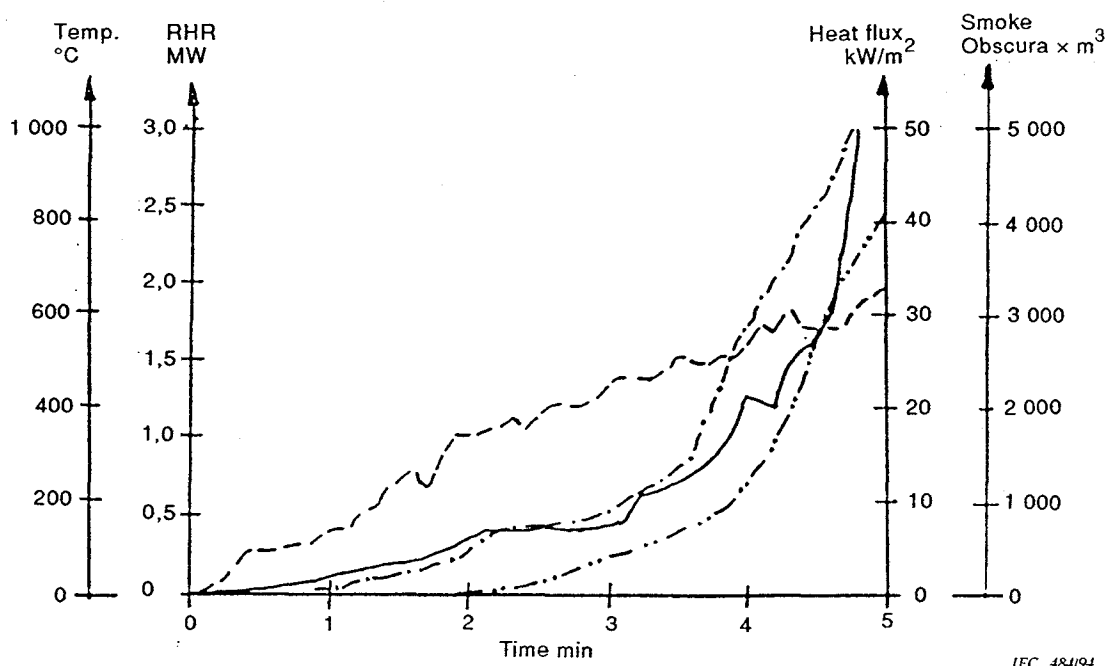
NOTE - Détails d'essai:

- La pièce à pleine échelle: longueur 3,6 m, largeur 2,4 m, hauteur 2,4 m, comprenant des structures en béton léger avec une porte de 2,0 m sur 0,8 m dans un mur.
- Le plafond et trois des quatre murs, à l'exclusion de celui contenant la porte d'entrée, sont recouverts de planches en aggloméré, de 10 mm d'épaisseur et de densité 750 kg/m³ qui constituent le matériau combustible.
- La source d'allumage est constituée d'un brûleur de 100 kW au gaz propane placé dans le coin opposé au mur doté d'une porte.

Figure 4 - Variation en fonction du temps, du débit calorifique, RHR (—), de la température des gaz sous le plafond (---), du flux de chaleur au plancher (- · - · -) et de la production totale de fumée (- · - · - · -), après l'allumage [3]

La figure 4 se réfère à un feu se produisant dans une pièce grandeur nature bien ventilée, aux murs recouverts de planches en aggloméré constituant le matériau combustible, allumé par un brûleur à gaz placé dans un coin et simulant le feu d'une corbeille à papier [3]. Les enregistrements des variations dans le temps sont données pour le débit calorifique (RHR), pour la température des gaz sous le plafond, pour le flux calorifique du plancher et pour la production totale de fumée exprimée en obscures par mètre cube. (Un obscure est égal à une concentration de fumée provoquant une absorption lumière de 1 dB par mètre correspondant à une visibilité approximative de 10 m.) Le feu a atteint le stade de l'embrasement éclair après 4,1 min, avec un débit calorifique de 1,25 MW, à une température des gaz sous le plafond d'un peu moins de 600 °C, et avec un flux de chaleur au plancher de 30 kW/m² environ.

Les figures 3 et 4 illustrent les conditions représentatives d'exposition pour des feux avant l'embrasement éclair dans des locaux bien ventilés. Cependant, les feux dans les locaux fermés ou non ventilés représentent un groupe de scénarios de feux qui sont plus fréquents que les feux dans les locaux ventilés. Un feu caractéristique non ventilé débute alors par la propagation d'un feu couvant qui peut se transformer en un feu étendu avec des flammes.



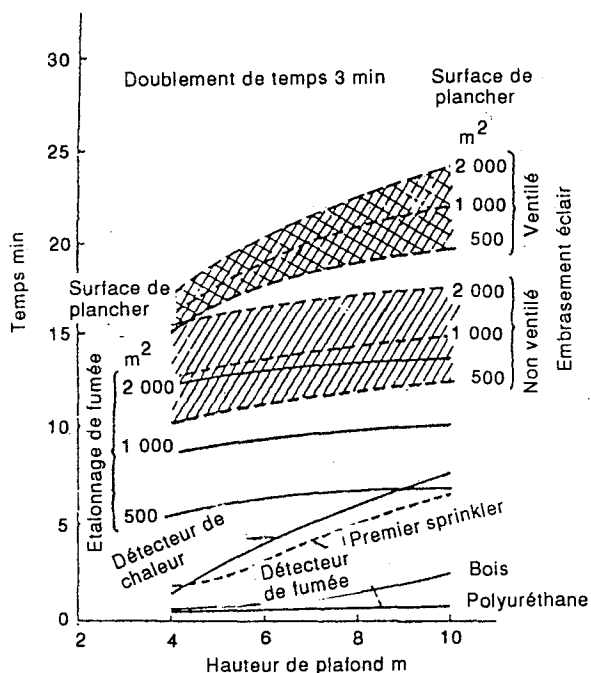
NOTE – Details of test:

- Full-scale room: length 3,6 m, width 2,4 m, height 2,4 m, enclosing structures of lightweight concrete with a doorway 2,0 m by 0,8 m in one wall.
- Burning material of particle board, thickness 10 mm, density 750 kg/m³, covering three walls and the ceiling, but not the fourth wall with doorway.
- Ignition source of a 100 kW propane gas burner, placed in a corner opposite the doorway wall.

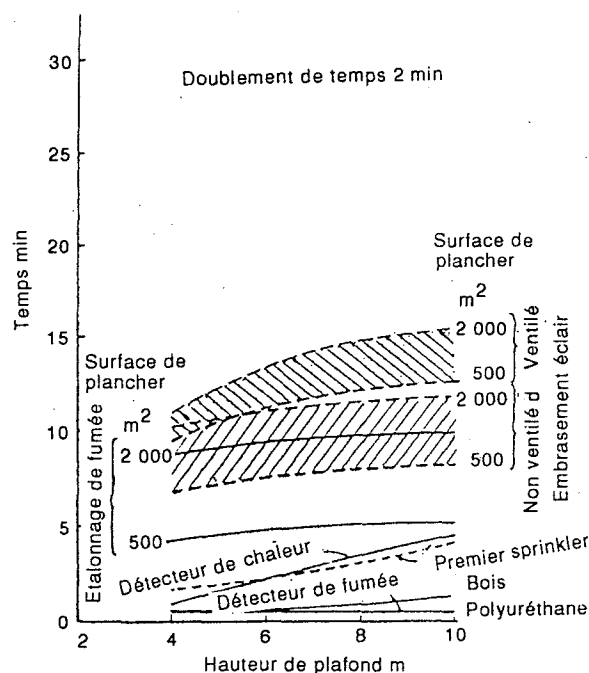
Figure 4 – Variation of rate of heat release, RHR (—), gas temperature below ceiling (---), heat to floor (·····) and total production of smoke (- · - · - ·), as a function of time after ignition [3]

Figure 4 refers to a full-scale, ventilated room fire with particle board on the walls as burning material, ignited by a gas burner, placed in one corner of the room and simulating a burning waste-paper basket [3]. The recorded time variations are given for the rate of heat release (RHR), the gas temperature below the ceiling, the heat flux to the floor and the total smoke production, expressed in obscura times cubic metre. (One obscura is equal to a smoke concentration causing a light absorption of 1 dB per metre corresponding to a visibility of roughly 10 m.) The fire goes to flashover after 4,1 min at a rate of heat release of 1,25 MW, a gas temperature below ceiling of just under 600 °C and a heat flux to floor of about 30 kW/m².

Figures 3 and 4 exemplify representative exposure conditions of well-ventilated pre-flashover compartment fires. However, fires in non-ventilated or closed spaces represent a group of fire scenarios which is much more common than ventilated space fires. A characteristic non-ventilated fire then starts with a smouldering fire propagation which may go through a transition to flaming fire spread.



CEI 485/94



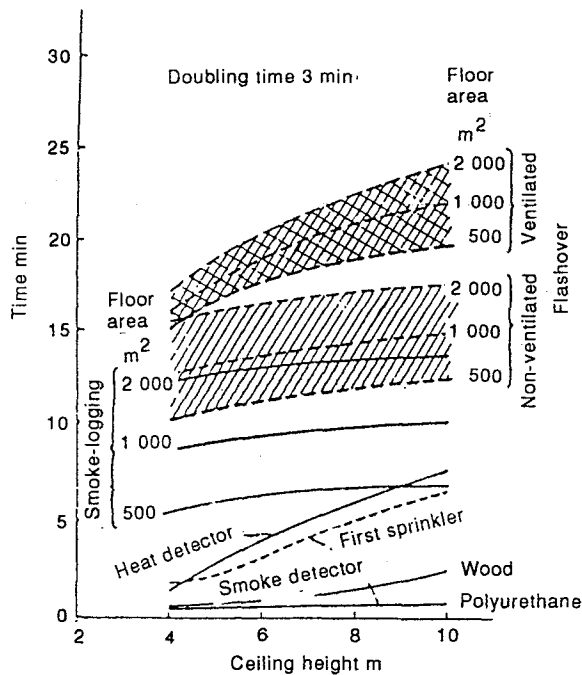
CEI 486/94

NOTE - Feux avec un taux exponentiel de propagation du feu égale à, respectivement, un doublement toutes les 3 min (figure 5a) et toutes les 2 min (figure 5b). La surface au plancher du compartiment se situe entre 500 m² et 2 000 m² et la hauteur du plafond entre 4 m et 10 m.

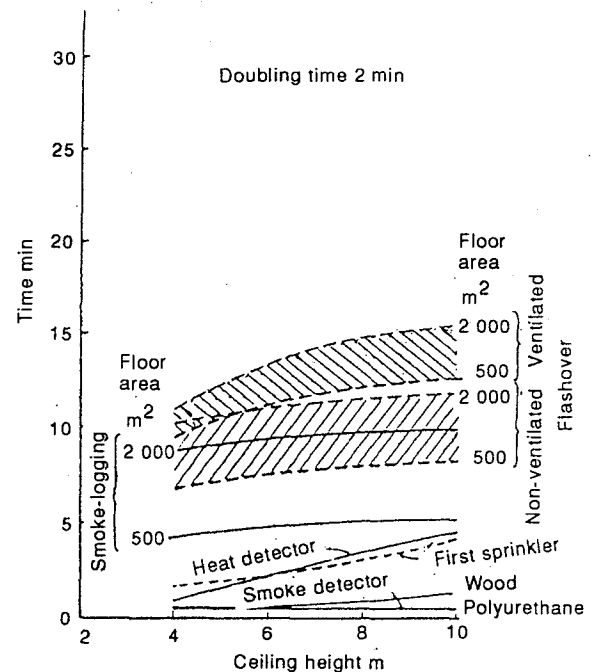
Figure 5 - Temps calculé mis pour la détection et par les événements critiques en fonction de la surface au sol et de la hauteur de plafond d'un compartiment [4]

Des illustrations de calculs de quelques-unes des propriétés caractéristiques des feux dans les compartiments *non ventilés* sont données par les figures 5 et 6. La figure 5 s'applique à un *feu avec des flammes* dans un local supposé fermé (exceptées les fuites à proximité du sol ou du plafond) [4]. Les diagrammes présentent les temps calculés auxquels les événements critiques tels que la production de fumée et l'embrasement éclair se produisent dans le compartiment. La limite de fumée est définie par l'instant à partir duquel la couche de fumée est descendue de 1,5 m du sol. Le compartiment est alors supposé devenu intenable pour une évacuation en sécurité et la lutte contre le feu devient risquée et difficile. Les diagrammes donnent les temps calculés à partir desquels les extincteurs et les détecteurs de chaleur et de fumée se mettent en oeuvre.

Pour ce qui concerne l'instant où l'embrasement éclair se produit, les diagrammes contiennent aussi une comparaison entre un feu dans un compartiment non ventilé (non-ventilé) et un feu analogue dans un compartiment ventilé par des conduits dans les plafonds pour extraire les gaz chauds et la fumée produite par le feu (ventilé). Les diagrammes montrent que les conditions de non-ventilation réduisent le temps jusqu'à l'embrasement éclair et que les temps relatifs aux événements critiques sont réduits de moitié pour la propagation du feu, comme il fallait s'y attendre.



IEC 485/94



IEC 486/94

NOTE – Fire with an exponential fire growth rate with a doubling time of 3 min (figure 5a), and 2 min (figure 5b), respectively. The floor area of the compartment ranges from 500 m² to 2 000 m² and the ceiling height from 4 m to 10 m.

Figure 5 – Calculated time for the detection and critical events as a function of compartment floor area and ceiling height [4]

Illustrations of some predicted characteristic properties of *non-ventilated* compartment fires are given in figures 5 and 6. Figure 5 applies to a *flaming* fire in a space assumed to be closed – except for leaks near the floor or the ceiling [4]. The charts present calculated times when critical events – smoke-logging and flashover – occur in the compartment. Smoke-logging is defined as the time when the smoke layer has dropped to a level of 1,5 m above the floor. The compartment is then assumed to be untenable for safe evacuation, and the fire-fighting becomes hazardous and difficult. The charts give the calculated times at which specified sprinklers and heat and smoke detectors come into operation.

As concerns the time to flashover, the charts also give a comparison between the non-ventilated compartment fire (non-ventilated) and a corresponding fire in the compartment, ventilated by vents in the ceiling to exhaust the hot gases and smoke produced by the fire (ventilated). The charts show that non-ventilated conditions reduce the time to flashover and that the times of critical events will be shorter with a decrease in doubling time of the fire growth, as expected.

En complément des illustrations données par la figure 5 et relatives à certaines propriétés d'un feu *non ventilé avec des flammes*, la figure 6 montre la concentration de monoxyde de carbone en fonction du temps, pour un feu non ventilé sans flamme, provoqué par un fauteuil dans la pièce, à une hauteur spécifiée et avec une surface au sol variable [5]. Les valeurs sont basées sur des expériences et sur un modèle théorique obtenu par extrapolation, et se rapportent à un capteur hypothétique situé à mi-hauteur dans la pièce. Les temps t_0 mis pour que la limite de la couche descende à cet endroit et le temps t^* pour que la dose critique ne soit pas dépassée sont indiqués sur la figure et sont aussi précisés sur les courbes.

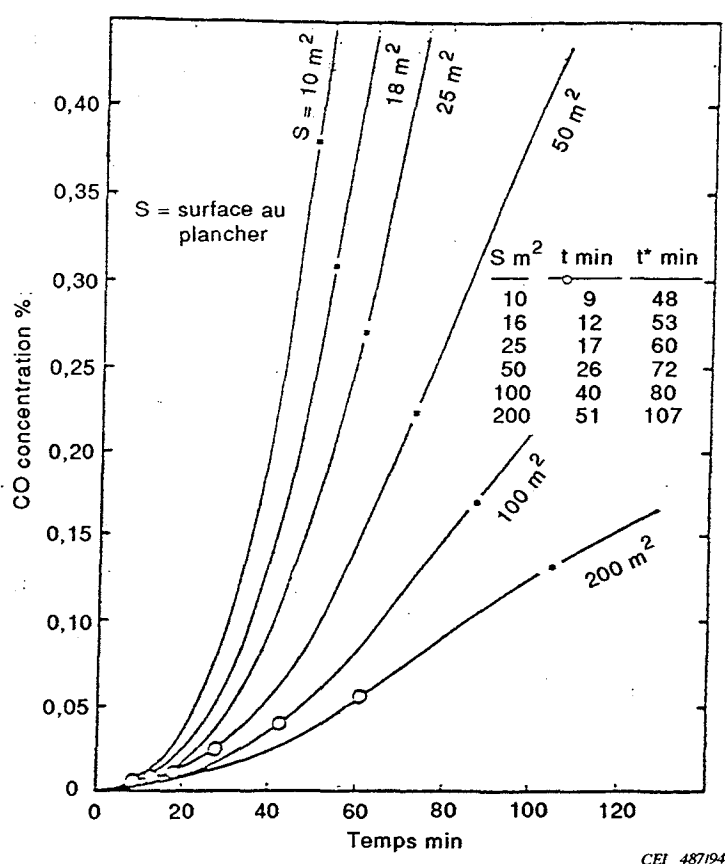


Figure 6 – Concentration de CO calculée en fonction du temps causé par un fauteuil se consumant sans flamme dans une pièce d'une hauteur de 2,4 m et avec une surface au plancher variable. Les valeurs se rapportent à la mi-hauteur de la pièce [5]

Les risques dus au feu dans une situation avant l'embrasement éclair peuvent être considérés en termes d'une série de probabilités qui dépend:

- de la présence de sources d'allumage;
- de la présence de produits;
- des propriétés de performance au feu des produits;
- des facteurs d'environnement;
- de la présence de personnes;
- de la présence/de la mise en fonctionnement des moyens de détection et de lutte, et
- de la disponibilité des évacuations.

To supplement the illustrations in figure 5 which show certain properties of a non-ventilated flaming fire, figure 6 shows the carbon monoxide concentration versus time for a *non-ventilated smouldering fire*, caused by a chair in a room with a specified height and varying floor area [5]. The values are based on experiments and a theoretical model for extrapolation and relate to a hypothetical sensor at the mid-height of the room. The time t_0 for the layer interface to descend to this point and the time t^* when a critical dose would be exceeded, are listed in the figure and also marked on the curves.

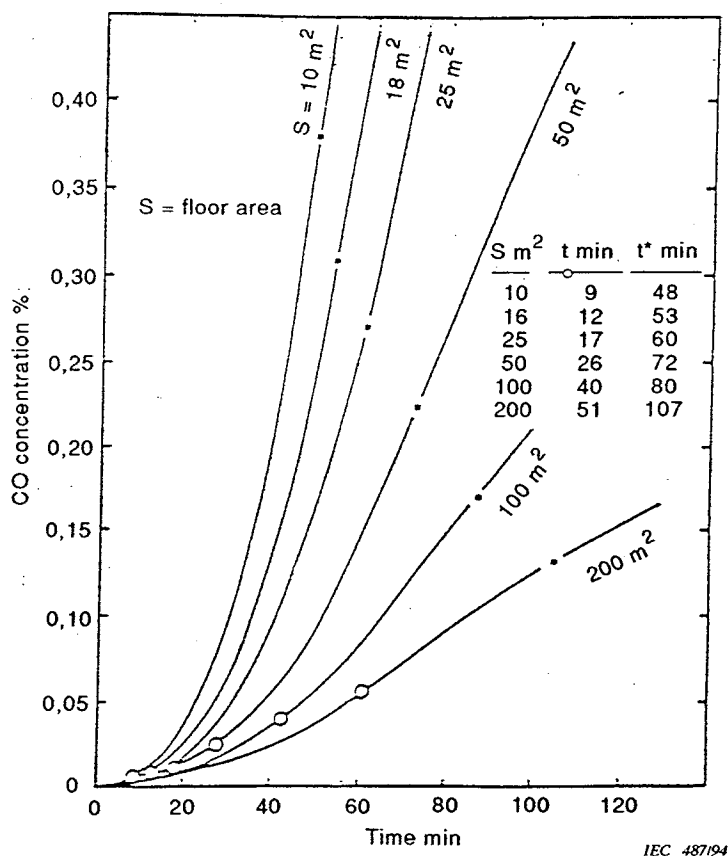


Figure 6 – Calculated CO concentration versus time caused by a chair smouldering in a room 2,4 m high and varying floor area S . The values relate to the mid-height of the room [5]

The *fire hazard of a pre-flashover situation* may be considered in terms of a series of probabilities which depends on:

- the presence of ignition sources;
- the presence of products;
- the product fire performance properties;
- the environmental factors;
- the presence of people;
- the presence/operation of detection and suppression devices, and
- the availability of escape.

Les produits particulièrement importants sont ceux qui peuvent d'eux-mêmes transformer un feu localisé dans une partie de la pièce en un embrasement éclair général, soit par leur teneur importante en énergie thermique (meubles capitonnés, importantes parties de meubles faites de matière plastique, matelas), ou soit de par leur large surface (mur, garnitures et décorations de plafond, importants rideaux).

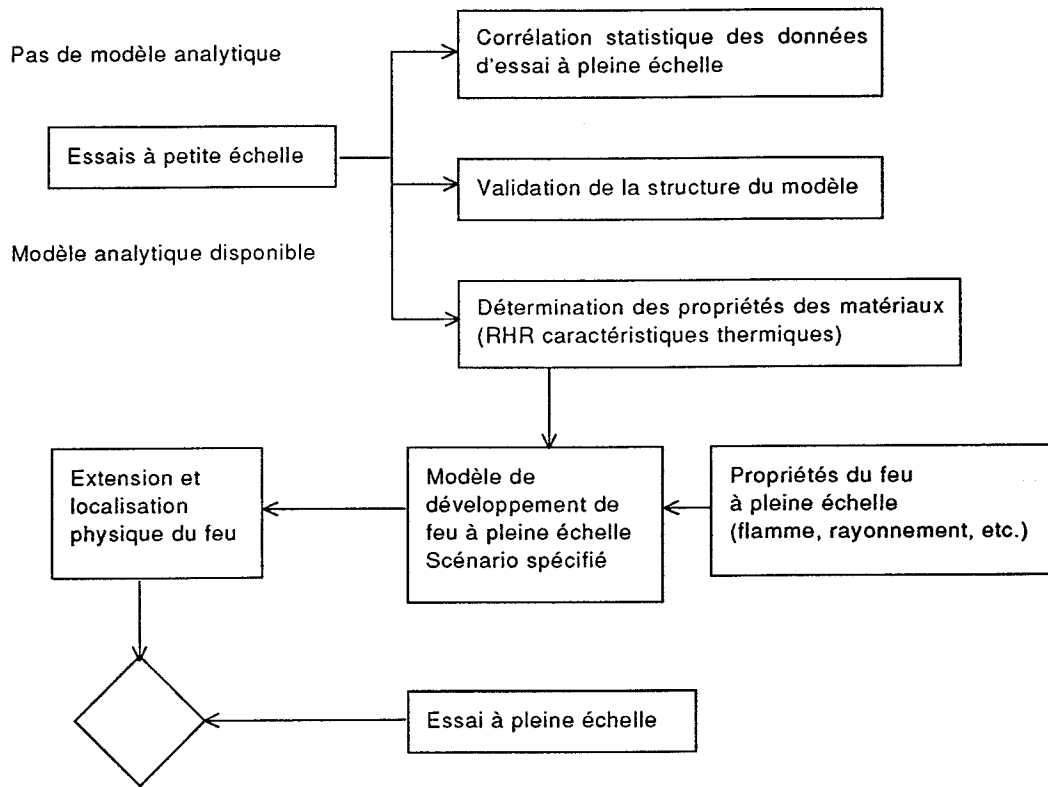


Figure 7 – Combinaison des essais de propriétés fondamentales et des modèles mathématiques pour établir la contribution d'un matériel essayé ou d'un produit à la sécurité contre le feu [6]

A long terme, afin de prévenir les risques de feu, l'utilisation pratique des résultats d'essais de réaction au feu à petite échelle devrait reposer sur une approche scientifique et fondamentale. La figure 7 donne un aperçu de la structure d'une telle approche [6].

Si aucun modèle mathématique n'est disponible pour un essai à petite échelle, les résultats d'essais doivent être corrélés au plan statistique avec les données des essais à pleine échelle. Si un modèle mathématique validé existe pour un essai à petite échelle, les caractéristiques importantes des matériaux, contrôlant le développement du feu dans un local, peuvent être données sous forme de valeurs quantitatives qui à leur tour peuvent être utilisées comme données d'entrée dans des modèles mathématiques relatifs à des feux intérieurs avant embrasement éclair, dans le cadre de scénarios spécifiques. Avoir accès à de tels modèles, appuyés et validés par des essais à pleine échelle, rend possible de prédire les variations dans le temps de l'étendue et de l'emplacement physique du feu dans un local dans des conditions différentes d'environnement. Le problème concernant la sécurité doit donc être considéré selon des méthodologies qui sont maintenant en usage dans nombre d'autres secteurs qui vérifient la sensibilité aux perturbations, la sensibilité et la sécurité dans des systèmes complexes.

Especially important are those products capable, on their own, of converting a fire in one part of a room into a general flashover – either because of their high thermal energy content (upholstered furniture, large pieces of furniture made of plastics, mattresses), or because of their large surface areas (wall and ceiling linings and decorations, large curtains).

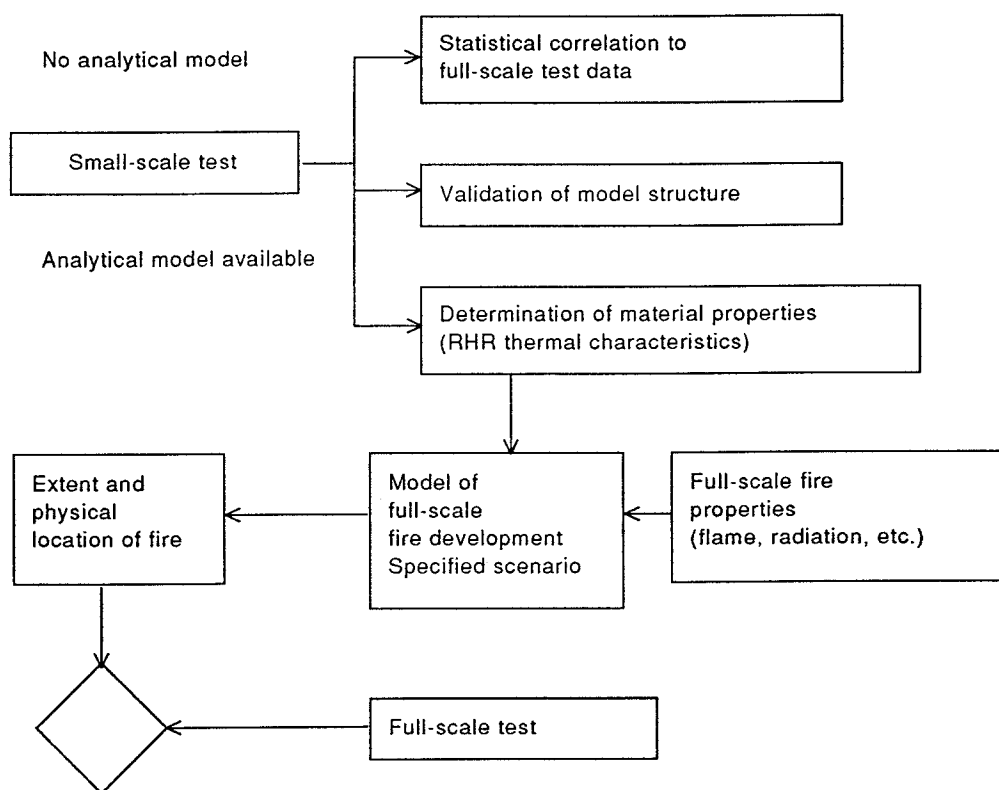


Figure 7 – Combination of basic property tests and mathematical models for assessing the contribution of a tested material or product to the overall fire safety [6]

With a view to practical, long-term use, the results of small-scale reaction to fire tests to predict fire hazard should be based on a fundamental and scientific approach. Figure 7 outlines the structure of such an approach [6].

If no mathematical model of a small-scale test is available, the test results shall be statistically correlated directly to full-scale test data. If a validated mathematical model of a small-scale test exists, important material characteristics controlling the space fire growth can be given quantitative values which can then be used as input data in mathematical models of full-scale pre-flashover space fire for specified scenarios. Having access to such models, supported and validated by full-scale tests, makes it possible to predict the time variation of the extent and physical location of a compartment fire at different environmental conditions. The related safety problem then has to be approached by methodologies now being used within a number of other sectors for assessing efficiency, sensitivity to disturbance and reliability in complicated systems.

5 Caractéristiques du feu après l'embrasement éclair

Les caractéristiques fondamentales pour décrire totalement un feu après l'embrasement éclair sont la variation dans le temps:

- du débit calorifique (RHR);
- de la température des gaz;
- des données géométriques et thermiques des flammes extérieures;
- de la fumée et de ses propriétés optiques, et
- de la composition des produits de combustion, en particulier des gaz toxiques et corrosifs.

Comme cela a été établi à l'article 3, le feu, après l'embrasement éclair, est décisif pour le comportement au feu des structures porteuses, pour la propagation du feu d'un local enflammé à un autre par l'intermédiaire des cloisons et des systèmes d'aération (figure 1), pour la propagation du feu par l'extérieur d'un étage à un autre, dans un bâtiment, et pour la propagation du feu d'un bâtiment à un autre. Pour ces applications, les trois premières caractéristiques sont utiles, tout particulièrement la température des gaz et les données géométriques et thermiques des flammes sortant par les ouvertures comme les fenêtres.

Au plan international, la conception de feu qui prévaut pour les éléments de structure porteuse et les cloisonnements se rapporte aux systèmes nationaux de classification avec l'application directe des résultats fournis par les essais normalisés de résistance au feu. Dans un tel essai, le spécimen est mis dans un four et exposé à une élévation de température qui doit être contrôlée afin de varier avec le temps dans le cadre de limites fixées, et selon la relation, c'est-à-dire le *feu standard*:

$$T_t - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1) \quad (2)$$

où

t est le temps en minutes (min);

T_t est la température du four au temps t , en degrés Celsius (°C);

T_0 est la température du four au temps $t = 0$ (°C).

La courbe de la température fonction du temps, d'après l'équation (2) est montrée à la figure 8 pour $T_0 = 20$ °C. Pour permettre des comparaisons, la figure contient aussi un ensemble de courbes donnant la température moyenne des gaz à l'intérieur du compartiment en feu, obtenues à l'issue d'essais à pleine échelle, conduits pour quatre densités différentes de charge calorifique, avec le facteur d'ouverture:

$$A\sqrt{h}/A_t = 0,157 \text{ m}^{1/2} \quad (3) \quad [7]$$

où

A est la surface d'ouverture, en mètres carrés (m²);

h est la hauteur d'ouverture, en mètres (m);

A_t est la surface totale intérieure de la zone limitant le compartiment en feu, surface de l'ouverture comprise (m²).

Les courbes démontrent que l'exposition thermique d'un feu expérimental situé dans un compartiment après l'embrasement éclair peut être considérablement différente de l'exposition thermique d'un feu standard.

5 Characteristics of post-flashover fire

The fundamental characteristics for a full description of post-flashover fire are the time variation of:

- the rate of heat release (RHR);
- the gas temperature;
- the geometrical and thermal data for external flames;
- the smoke and its optical properties, and
- the composition of the combustion products, particularly corrosive and toxic gases.

As stated in clause 3, the post-flashover fire is decisive for the fire behaviour of the load-bearing structures, the fire spread from one fire space to another via partitions and ventilation systems (figure 1), the external fire spread from one storey to another in a building, and the fire spread from one building to another. For these applications the first three characteristics are the relevant ones, primarily the gas temperature and the geometrical and thermal data for the flames emerging from the window openings.

Internationally, the prevailing fire design of load-bearing structural elements and partitions relates to national classification systems with direct application of results of standard fire resistance tests. In such a test, the specimen is exposed in a furnace to a temperature rise which shall be controlled so as to vary with time within specified limits, according to the relationship, i.e. the *standard fire*:

$$T_t - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1) \quad (2)$$

where

t is the time, in minutes (min);

T_t is the furnace temperature at time t , in degrees Celsius (°C);

T_0 is the furnace temperature at time $t = 0$ (°C).

The temperature-time curve according to equation (2) is shown in figure 8 for $T_0 = 20$ °C. For comparison, the figure also includes a set of curves giving the average gas temperature inside fire compartments, obtained in full-scale tests carried out for four different fire load densities in a room with an opening factor:

$$A\sqrt{h}/A_t = 0,157 \text{ m}^{1/2} \quad (3) \quad [7]$$

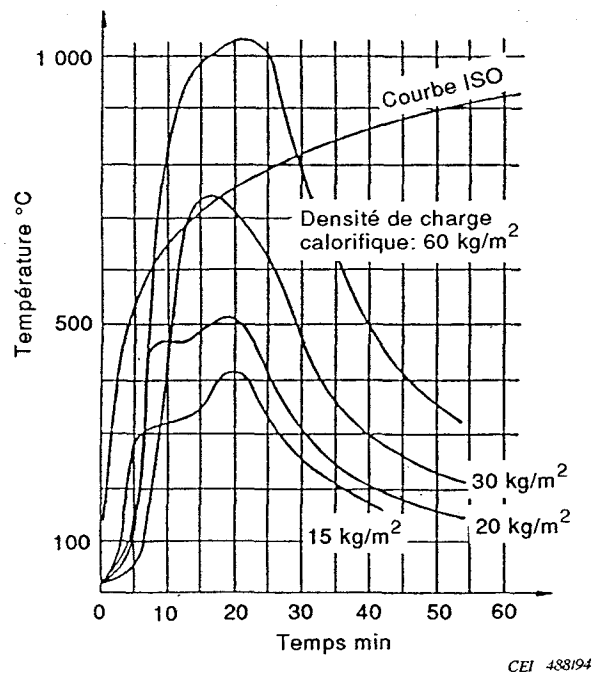
where

A is the opening area, in square metres (m²);

h is the opening height, in metres (m);

A_t is the total interior area of the surface bounding the fire compartment, opening area included (m²).

The curves demonstrate that the thermal exposure in an experimental post-flashover compartment fire can deviate considerably from the thermal exposure in the standard fire.

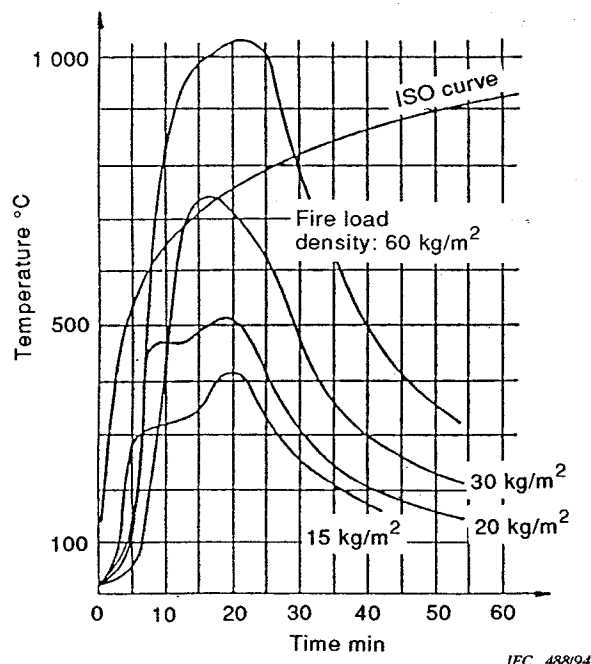


NOTE – Le compartiment avec ses structures limitrophes est composé d'un plancher, d'un mur en béton allégé, de trois murs de briques simples et d'un plafond en béton réfractaire (murs et plafond isolés de l'intérieur par du plâtre à base de vermiculite). La densité de charge calorifique pour bois en kg par m² de surface au plancher [7].

Figure 8 – Le feu standard, selon l'équation (2) (courbe ISO), comparé avec les courbes de la température moyenne des gaz en fonction du temps, déterminées par quatre feux expérimentaux à pleine échelle, est caractérisé par le même facteur d'ouverture, selon l'équation (3) et une densité variable de charge calorifique

Pendant les dernières décennies, un progrès rapide a été fait pour développer des méthodes analytiques et par ordinateur pour une conception ingénierie feu en matière de structures porteuses, de cloisons et des éléments de construction. En conséquence, de plus en plus de pays permettent maintenant la classification au feu de construction sous forme analytique, à la place d'une classification fondée sur les résultats d'essais de résistance à un feu standard. A long terme, les développements s'orientent vers une conception analytique ou par ordinateur directement fondée sur l'exposition à un feu naturel, spécifié selon les caractéristiques de combustion d'une charge calorifique, et selon les propriétés géométriques, thermiques et de ventilation du local en feu. Parallèlement, un autre développement s'oriente sur une fiabilité résultant d'une conception structurelle ingénierie feu, comprenant des contributions relatives à un calcul pratique de format de conception, fondées sur des facteurs partiels de sécurité mais aussi sur une évaluation basée sur des méthodes de fiabilité de premier ordre. Voir la référence [8] ainsi que d'autres références indiquées dans l'annexe A.

Dans un projet fondé sur le concept du cloisonnement naturel au feu, l'exposition à la chaleur de la structure ou d'élément de construction peut être déterminée soit par des calculs d'équilibre de masse et d'énergie ou soit à partir des conceptions systématiques. La figure 9 illustre une telle conception de base, approuvée par l'Administration nationale de la construction et de l'aménagement du Territoire en Suède, en vue d'une application pratique généralisée [9].

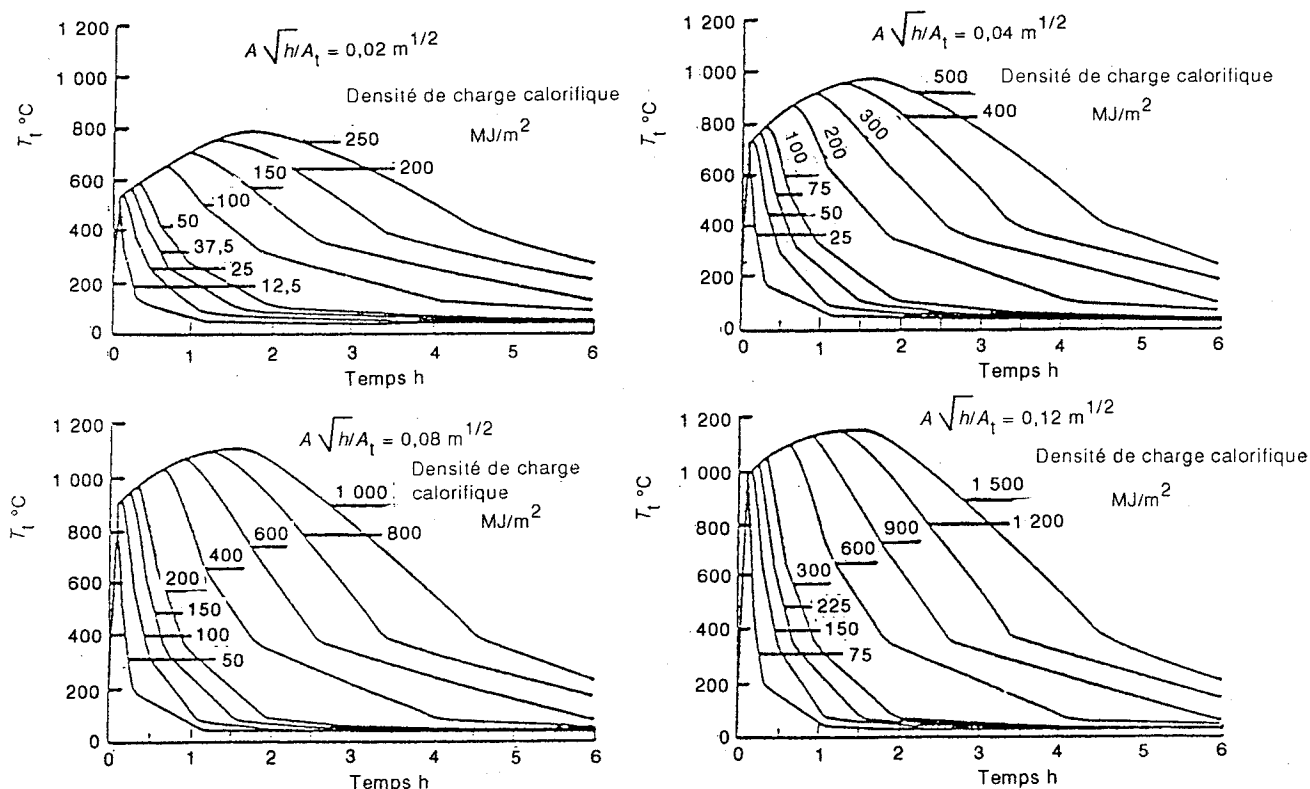


NOTE – Compartment with bounding structures of floor and one wall of lightweight concrete, three walls of common brick and ceiling of refractory concrete (walls and ceiling insulated on the inside by vermiculite-based plaster). Fire load density for fuel of wood in kg per m² floor area [7].

Figure 8 – The standard fire according to equation (2) (ISO curve), compared with the time curves of the average gas temperature, determined in four full-scale experimental fires characterized by the same opening factor according to equation (3) and a varying fire load density

Over the last decades rapid progress has been made in the development of analytical and computational methods for a fire engineering design of load-bearing and separating structures and structural elements. As a consequence, more countries are now permitting a classification of structural elements with respect to fire to be formulated analytically as an alternative to classification, based on results of standard fire resistance tests. In the long term, the development is heading towards an analytical or computational design, directly based on a natural fire exposure, specified with regard to the combustion characteristics of a fire load and the geometrical, ventilation and thermal properties of the fire space. In parallel, a further development is going in the direction of a reliability-based structural fire engineering design, including contributions related to a practical design format calculation, based on partial safety factors, as well as to evaluation, based on first order reliability methods (see reference [8] and others in annex A).

In a design based on the natural space fire concept, the heat exposure on the structure or structural element can be determined either by energy and mass balance calculations or from a systematized design basis. Figure 9 exemplifies such a design basis approved by the National Swedish Board of Physical Planning and Building for a general practical application [9].



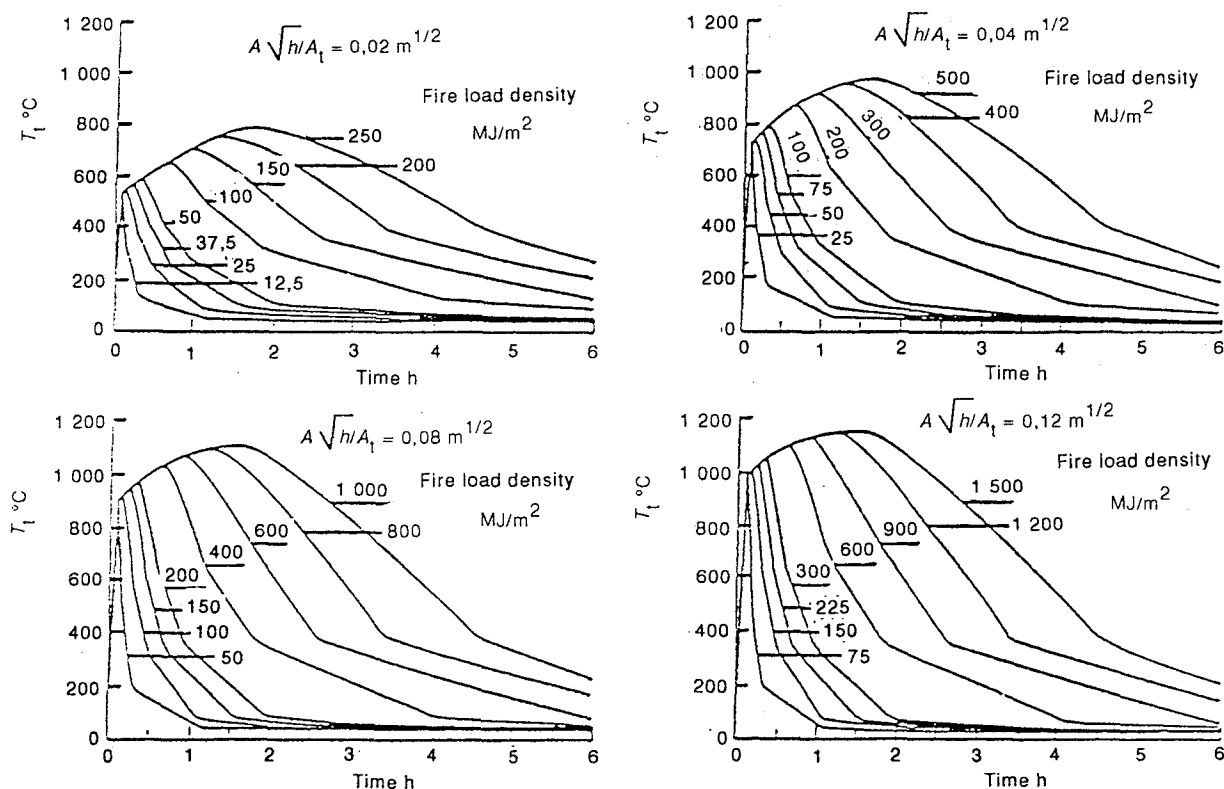
CEI 489/94

Figure 9 – Exemples de courbes de températures du gaz en fonction du temps pour des feux dans un compartiment après l'embrasement éclair pour différentes valeurs de la densité de charge et du facteur d'ouverture

Les variables sur les diagrammes sont la densité de charge calorifique, par unité de surface des zones limitant le local, en MJ/m^2 , et les caractéristiques de ventilation du compartiment exprimées par le facteur d'ouverture $A\sqrt{h}/A_f$ en $\text{m}^{1/2}$. Les diagrammes s'appliquent à un compartiment en feu avec des données thermiques spécifiées pour des cloisons (compartiment en feu de type A – à partir des règles autorisées en Suède pour la construction [9]).

Les locaux en feu s'écartant des données thermiques spécifiées peuvent approximativement être assimilés à un compartiment en feu de type A en utilisant des valeurs fictives pour la densité de charge calorifique et pour le facteur d'ouverture. Les diagrammes sont fondés sur une série d'hypothèses simplificatrices donnant généralement une conception prudente.

Les conditions d'exposition, risquant de provoquer la propagation du feu par l'extérieur, d'un étage à un autre dans un immeuble, sont illustrées par la figure 10 qui montre la distribution verticale le long de la façade, déterminée expérimentalement, pour des valeurs maximales de température (10 cm à l'extérieur de la façade) et pour un rayonnement ainsi que du flux total de chaleur vers la façade [10]. Les courbes portent sur un feu après l'embrasement éclair dans un local du premier étage d'un immeuble de trois étages et avec des flammes et des gaz chauds sortant des fenêtres ouvertes du local. L'essai de feu simule un feu réel, après l'embrasement éclair, représentatif d'appartements contenant des meubles en matériaux synthétiques.



IEC 489/94

Figure 9 – Examples of gas temperature-time curves of post-flashover compartment fires for different values of the fire load density and the opening factor

Variables for the charts are the fire load density per unit area of enclosing surfaces of the compartment, in MJ/m^2 , and the ventilation characteristics of the compartment expressed by the opening factor $A\sqrt{h}/A_f$ in $\text{m}^{1/2}$. The charts apply to a fire compartment with specified thermal data for the closing structures (fire compartment type A – from authorized Swedish building regulations [9]).

Fire spaces with deviating thermal data can approximately be transferred to the fire compartment type A by using fictitious values of the fire load density and the opening factor. The charts are based on a series of simplifying assumptions, generally giving a conservative design.

Exposure conditions, causing risk of external fire spread from one storey to another in a building, are exemplified in figure 10 which shows experimentally determined vertical distribution along a façade of maximum values of the temperature (10 cm outside the façade) and radiation and total heat flow towards the façade [10]. The curves relate to a post-flashover fire in a space on the first floor of a three-storey building and the flames and hot gases emerging from the window opening of the space. The test fire simulates a real post-flashover fire, representative of flats with furnishings of synthetic materials.

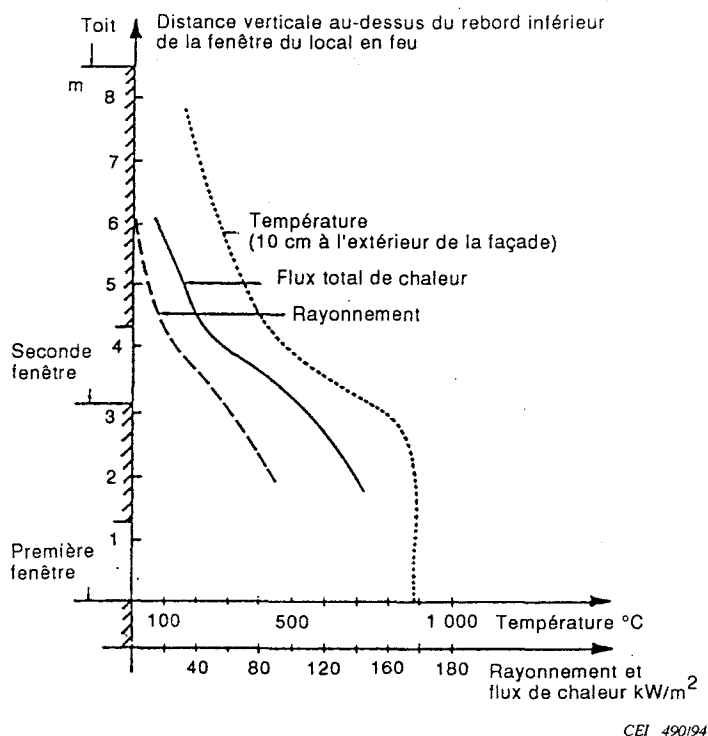
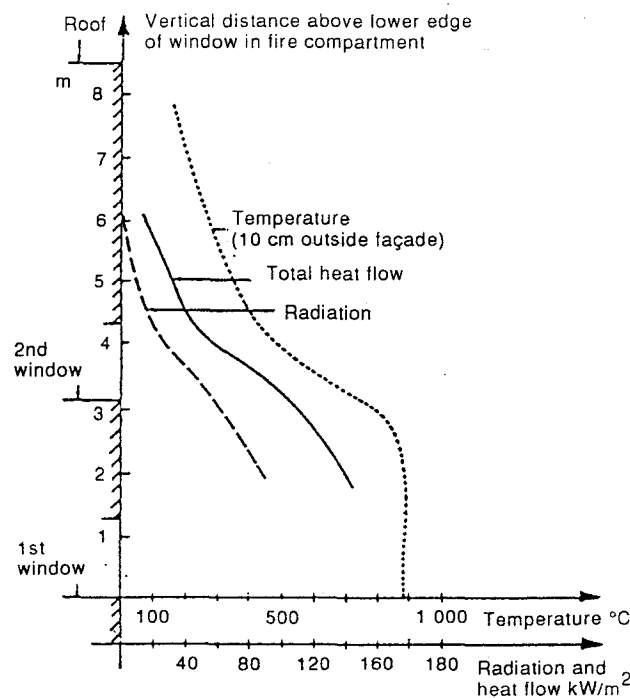


Figure 10 – Distribution verticale, le long d'une façade, des valeurs maximales de température (10 cm à l'extérieur de la façade), de rayonnement et de flux de chaleur à travers la façade, obtenues dans un essai de pleine échelle, pour un feu après l'embrasement éclair, dans un local situé au premier étage d'un immeuble de trois étages [10]

Les conditions d'exposition thermique devant une façade d'un local en feu (illustrées par la figure 10) sont aussi importantes pour la propagation du feu d'un immeuble à un autre.

Les facteurs importants pour un feu après l'embrasement éclair sont la fumée ou les gaz toxiques mettant en danger les personnes sur les chemins d'évacuation ou dans les zones protégées éloignées dans un immeuble. Dans beaucoup de pays et pendant les dernières décennies, des efforts importants ont conduit à des modèles sur ordinateur décrivant l'écoulement de fumée à l'intérieur d'immeubles naturellement ventilés ou équipés de systèmes d'air conditionné. L'organigramme de la figure 11 décrit l'approche principale [11], [6]. La fumée est distribuée à l'intérieur de l'immeuble en s'infiltrant par les écoulements d'air entre les pièces et par les systèmes d'aération. L'immeuble est assimilé à une série d'espaces et de noeuds, chacun à une pression particulière, avec un écoulement d'air entre eux se dirigeant des zones de haute pression vers les zones de basse pression. La pression de chaque zone et le flux d'air à travers chaque ouverture sont calculés en résolvant les équations d'écoulement d'air pour l'immeuble dans sa totalité. Les facteurs importants sont la résistance à l'écoulement des ouvertures, les systèmes de ventilation et les forces d'entraînement des masses telles que la poussée de l'air chaud et le vent extérieur aussi bien que la résistance à l'écoulement des ouvertures et des systèmes de ventilation.



IEC 490/94

Figure 10 – Vertical distribution along a façade of maximum values of temperature (10 cm outside façade) and radiation and heat flow towards the façade, obtained in a full-scale test with a post-flashover fire in a space on the first floor of a three-storey building [10]

The thermal exposure conditions in front of a façade from a fire in a space, exemplified by figure 10, are decisive also for fire spread from one building to another.

An important factor of the post-flashover fire is the smoke and toxic gases affecting people in escape routes and remote safety areas in a building. Extensive efforts in a number of countries during the last decades have produced computational models describing smoke flow in naturally ventilated or air-conditioned buildings. The flow diagram in figure 11 outlines the basic approach [11], [6]. Smoke is distributed within the building through the air flows between rooms and by the ventilation systems. The building is considered as a series of spaces or nodes, each at a specific pressure with air flow between them from areas of high pressure to areas of low pressure. The pressure in each of the spaces and the air flow through each opening is calculated by solving the air flow equations for the complete building. Decisive factors are the flow resistance of the openings and the ventilation systems and the mass driving forces such as the buoyancy of hot air and external wind as well as the flow resistance of openings and ventilation systems.

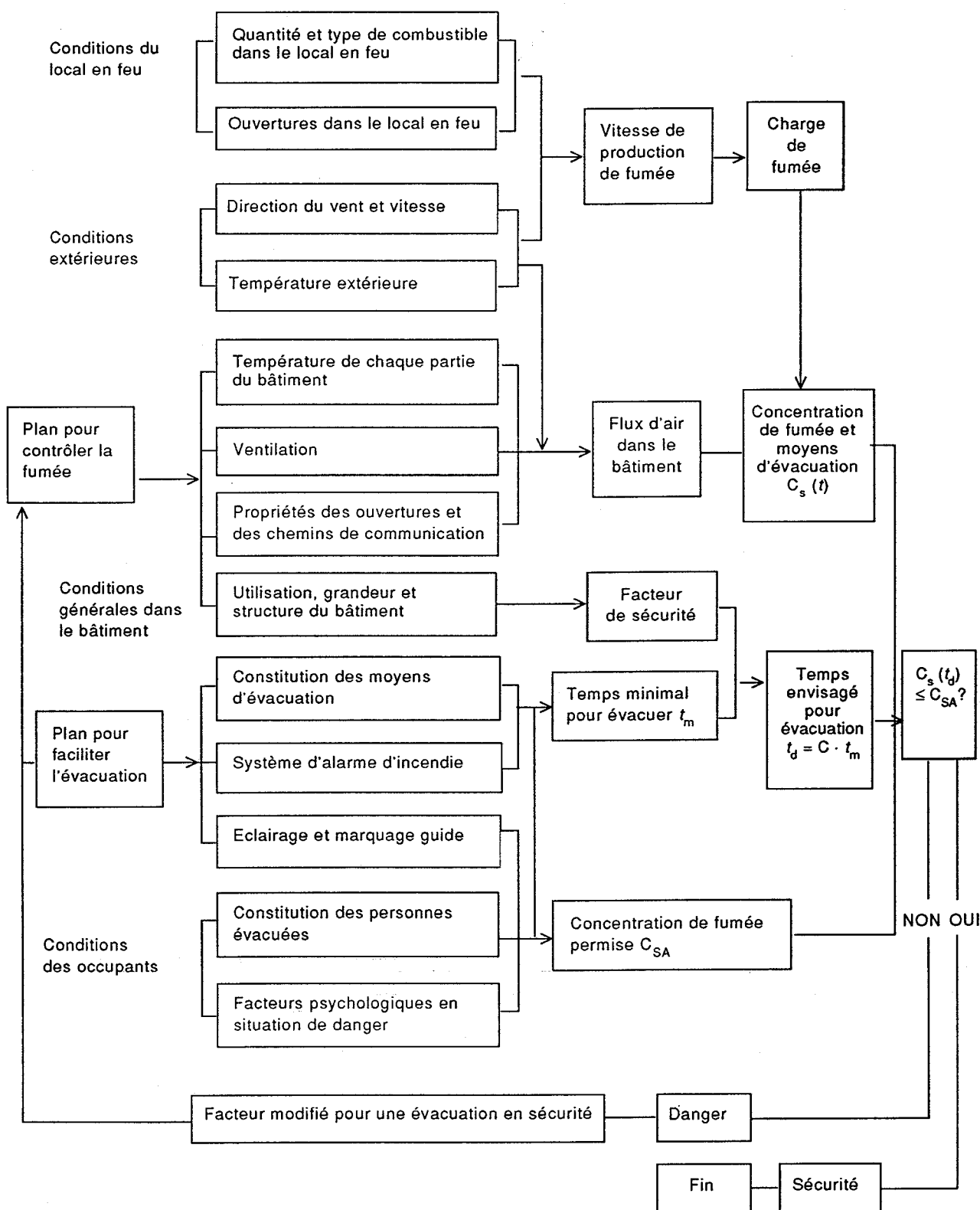


Figure 11 – Organigramme pour un projet de système afin de contrôler la fumée à l'intérieur d'un bâtiment [11]

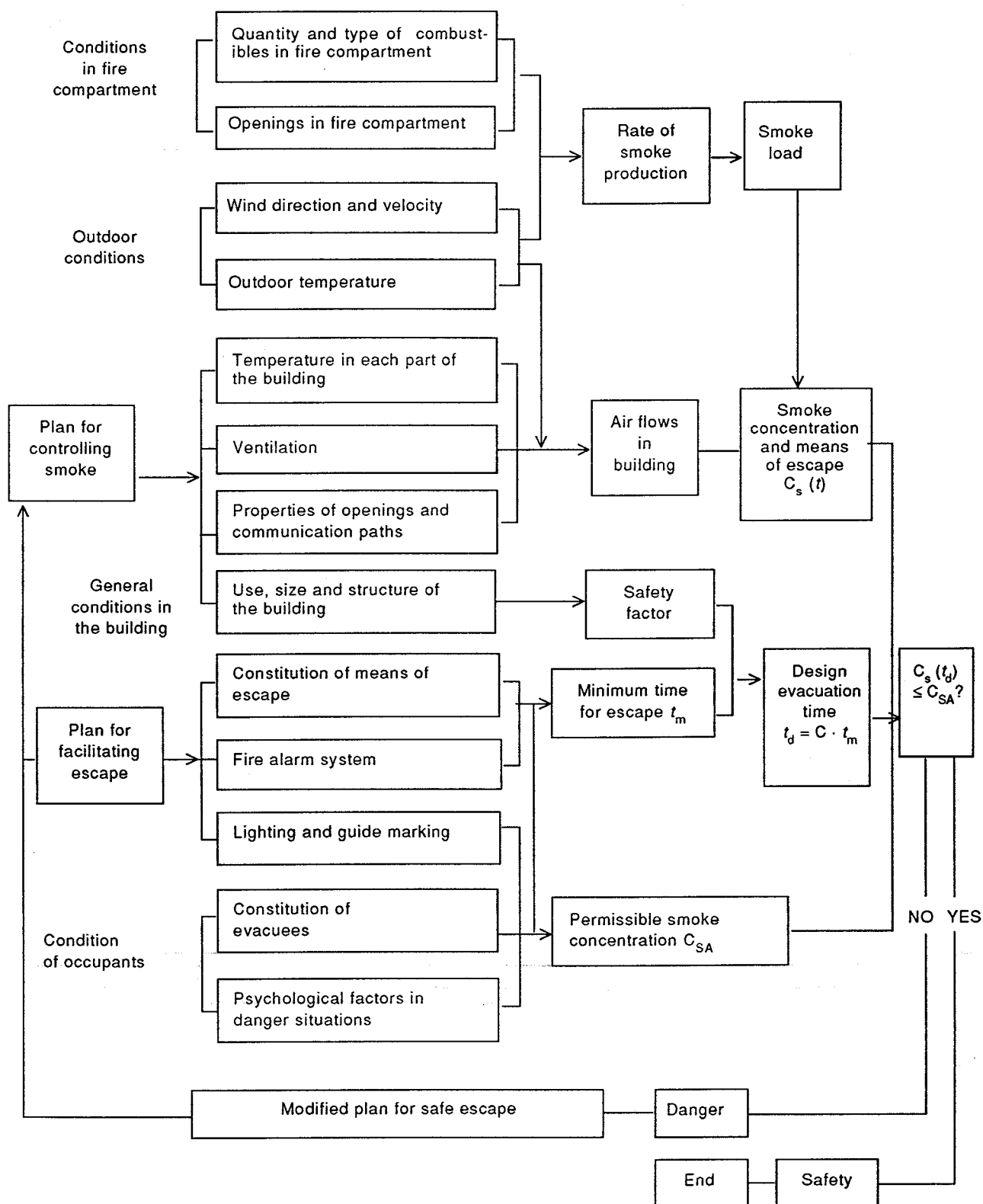


Figure 11– Flow diagram of a smoke control design system in a building [11]

Une analyse complète et une conception conforme à la figure 11 nécessitent l'accès à trois sous-systèmes majeurs interconnectés, c'est-à-dire:

- un modèle de développement pour le feu, décrivant les vitesses de production de fumée et de gaz toxiques;
- un modèle de flux et de pression d'air dans un bâtiment, et
- un modèle de comportement humain et l'impact des facteurs physiologiques et psychologiques sur le processus d'évacuation.

Cependant, pour beaucoup d'applications pratiques, une analyse simplifiée peut être suffisante.

6 Caractéristiques de la fumée et des gaz en tant que produit du feu

La fumée peut détruire ou endommager certaines propriétés ou interdire le fonctionnement de matériel critique. Ces effets sont la plupart du temps de nature chimique et le type le plus évident pour la destruction ou le dommage est, pour ce qui concerne les produits électrotechniques, la corrosion, par exemple par le chlorure d'hydrogène contenu dans la fumée.

La présentation qui suit se limite à deux points principaux concernant les matériels électrotechniques, en particulier:

- les propriétés de la fumée concernant la technologie des détecteurs de fumée, et
- le chlorure d'hydrogène produit par le feu provoquant l'augmentation de la corrosion.

La fumée est un mélange de gaz chauds, de petites gouttes de liquides et de particules solides issues de la combustion. Pour concevoir et essayer rationnellement des détecteurs de fumée, en se fondant sur des performances, il convient de caractériser la fumée en termes de caractéristiques intéressant les détecteurs c'est-à-dire distribution des particules, concentration en masse et indice de réfraction [12]. Dans les modes opératoires d'essai normalisé, la sensibilité et les critères d'acceptation sont souvent exprimés en termes de densité optique ou d'obscurcissement aux environs du détecteur. La détermination de la densité optique est liée à la source lumineuse, qui, la plupart du temps, a une longueur d'onde correspondant à la lumière blanche, et à une cellule photo-électrique ayant une sensibilité qui correspond à celle de l'œil humain. Pour une description fine de la relation existant entre le signal de sortie du détecteur et les mesures de densité optique, on doit lier cette description aux caractéristiques de la fumée qui sont citées plus haut. Comme illustration l'exemple de la figure 12 montre une corrélation entre la concentration des particules et l'obscurcissement mesuré par la densité optique par mètre, pour différents matériaux pendant la phase avec flammes d'un feu [13]. Comme la corrélation dépend de l'indice de réfraction des particules, les modes de feux, avec flammes et sans flammes, donnent différentes corrélations.

Les prescriptions relatives à des scénarios variés de feu sont fondées sur des valeurs autorisées de concentration de fumée, tout en tenant compte de la visibilité, de la toxicité et des caractéristiques, celles-ci étant établies en fonction de constitution des personnes évacuées et des conditions d'évacuation, par exemple de capacité, d'éclairage, de signalisation touchant les moyens d'évacuation, voir la figure 11. Un exemple d'information disponible qui peut être utilisée pour choisir de telles valeurs autorisées est donné à la figure 13; il montre une relation caractéristique entre une visibilité particulière ou une distance de vue en mètres et la densité optique de la fumée par mètre [14]; comme cela est déterminé dans la chambre de densité de fumée (par l'ASTM: Méthode d'essai normalisé par NBS pour la mesure de la densité optique des fumées générées par des matériaux solides*).

* ASTM E 662-83, Philadelphie 1983.

A complete analysis and design according to figure 11 requires access to three major interconnected subsystems, namely:

- a fire development model, describing the production rate of smoke and toxic gases;
- a building air pressure and air flow model, and
- a human behaviour model and the impact of physiological and psychological factors on the evacuation process.

For many practical applications, however, a less comprehensive analysis may be sufficient.

6 Characteristics of smoke and gases as a fire product

Smoke can destroy or damage property and prevent the functioning of critical equipment. These effects are mostly of a chemical nature and the most obvious type of destruction or damage with respect to electrotechnical products is corrosion, e.g. caused by hydrogen chloride as a substance in smoke.

The following presentation is limited to two main items of relevance to electrotechnical equipment, namely:

- smoke properties pertinent to smoke detector technology, and
- fire-induced hydrogen chloride giving rise to corrosion.

Smoke is a mixture of heated gases, small liquid drops, and solid particles from the combustion. For a rational, performance-based smoke-detector design and testing, the smoke should be characterized in terms of attributes sensed by the detector, i.e. particle size distribution, number concentration, mass concentration and refractive index [12]. In standard test procedures, sensitivity and approval criteria are often expressed in terms of the optical density or the light obscuration of the smoke around the detector. The determination of the optical density is related to a light source, which in most cases has a wavelength corresponding to white light, and to a photocell with a sensitivity corresponding to the human eye. For a well-defined description of the relation between the detector output and the optical density measurements, the latter shall be linked to the smoke attributes mentioned above. As an exemplifying illustration, figure 12 shows a correlation between particulate concentration and the extinction, measured as the optical density per metre, for different materials during the flaming mode of a fire [13]. As the correlation depends on the refractive index of the particles, flaming and non-flaming modes give different correlations.

Requirements for various fire scenarios are based on permissible values for smoke concentration with regard to visibility and toxicity, and to characteristics, assessed on the conservative side, for the conditions of the evacuees and for the capacity, lighting, signs, etc. of the means of escape – cf figure 11. An example of available information which can be used for selecting such permissible values is given in figure 13, which shows a representative relationship between specific visibility or length of sight in metres and the optical density of the smoke per metre [14], as determined by the NBS Smoke Density Chamber (In American Society for Testing and Materials (ASTM), Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials*).

* ASTM E 662-83, Philadelphia 1983.

Les essais d'acceptation des Laboratoires Underwriters (UL) relatifs aux détecteurs de fumée sont basés en partie sur une sensibilité minimale fixée à 0,06 pour la densité optique par mètre pour une fumée de couleur grise (feu de cellulose) et à 0,14 pour une fumée noire (feu de carburant) [15].

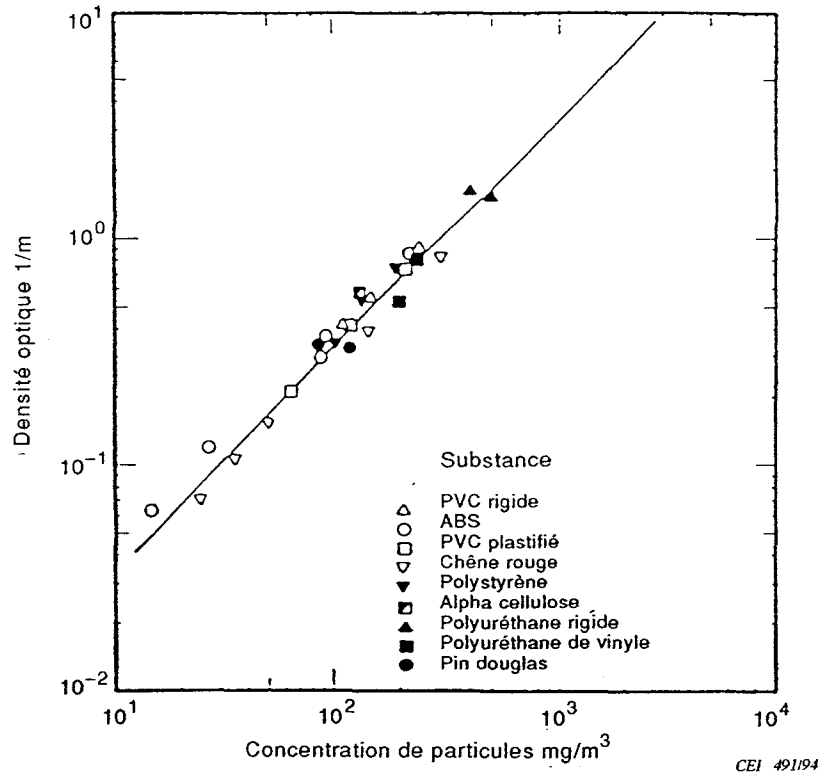


Figure 12 – Corrélation entre la densité optique par mètre de fumée et la concentration de particules pour un mode de feu donné avec des flammes [13]

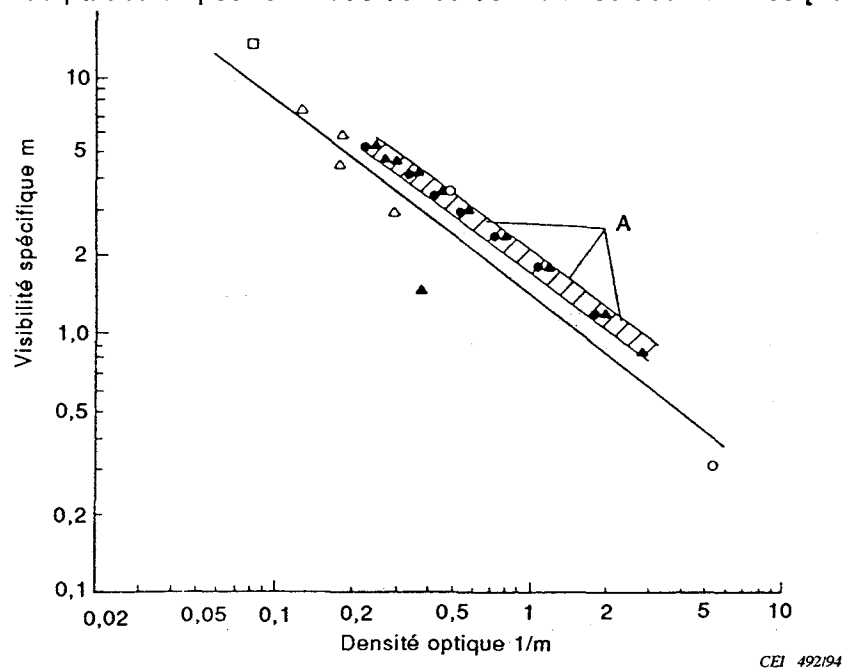


Figure 13 – Visibilité spécifique ou distance de visibilité en mètres, en fonction de la densité optique par mètre de fumée, densité utilisée comme critère représentatif des feux. Les différents symboles se réfèrent à des caractéristiques variant avec l'éclairage et la signalisation. La région A est relative aux lampes portatives focalisées dans une fumée jaune [14]

Underwriters Laboratories' (UL) acceptance testing of smoke detectors is based in part on a minimum sensitivity related to an optical density per metre of 0,06 for grey-coloured smoke (cellulosic fire) and 0,14 for black smoke (kerosene fire) [15].

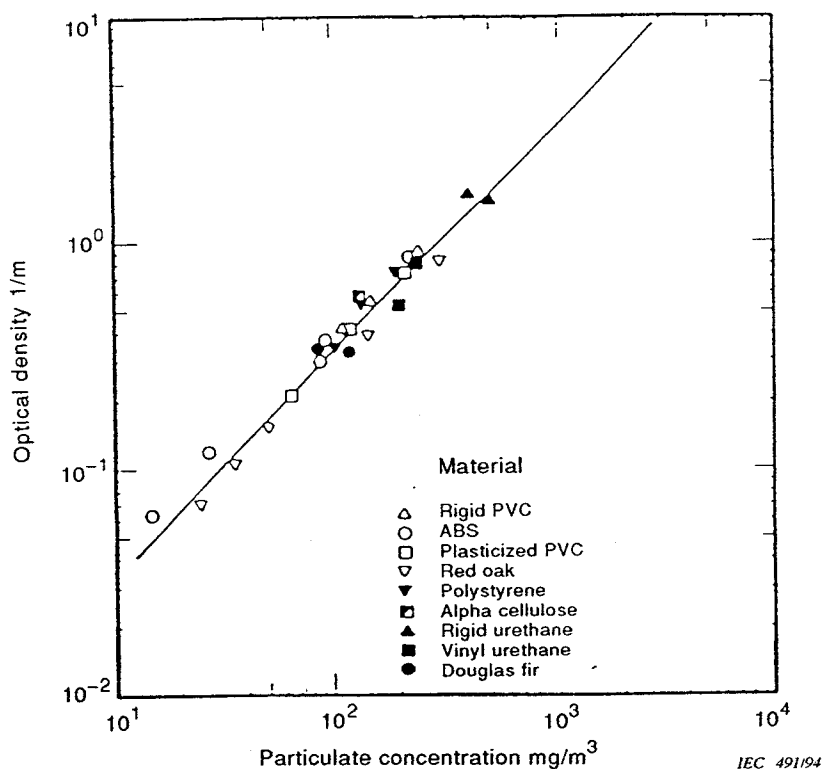


Figure 12 – Correlation between optical density per metre of smoke and particulate concentration for the flaming mode of a fire [13]

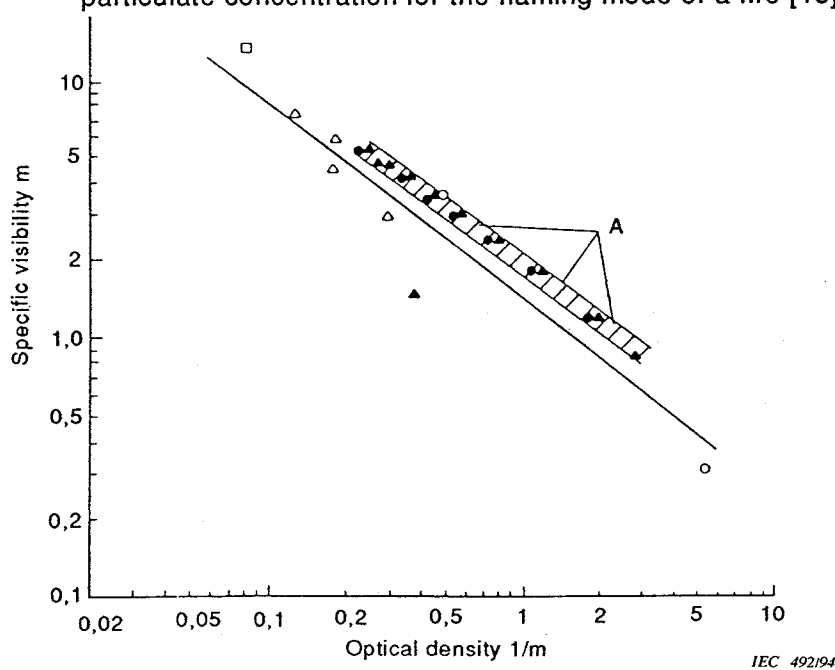


Figure 13 – Specific visibility or length of sight in metres versus optical density per metre of smoke as representative for fires. The various symbols refer to varying characteristics of lighting and marking. The region A relates to focused hand lamps in yellow smoke [14]

Les surfaces métalliques, exposées à l'air dans des conditions normales hors incendie, ont souvent un dépôt de chlorure atteignant 10 mg/m^2 . Un tel dépôt n'est normalement pas nocif [16]. Cependant, après une exposition à la fumée issue d'un feu incluant du polychlorure de vinyle (PVC), il peut exister une contamination de surface atteignant des milliers de milligrammes par mètre carré, provoquant souvent d'importants dommages. Une contamination par chlorure des matériels électrotechniques peut être traitée, par exemple par l'utilisation de détergents, de solvants, d'agents neutralisants, de vibrations ultrasoniques et de jets d'air propre. Ces procédés ne sont pas toujours efficaces, le traitement n'étant que temporaire et non permanent [17].

Des expérimentations sont présentées en [18], sur des fils gainés PVC et ont été conduites à une échelle suffisante pour être considérées comme représentative de feux réels. Le scénario étudié concerne la décomposition d'une isolation de fils à base de PVC (longueur du fil 9,14 m, masse du PVC et du papier, respectivement 24 g/m et 4 g/m), soumis à une surintensité pendant 45 min, sans recyclage d'air dans le faux plafond pressurisé d'une pièce ayant les dimensions suivantes: longueur 3,6 m, largeur 2,4 m, hauteur 3,6 m y compris le faux plafond situé à plus de 2,4 m du sol. La figure 14 illustre les résultats montrant les concentrations de gaz mesurées comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO_2), les hydrocarbures non brûlés (CH_x) et le chlorure d'hydrogène (HCl), en fonction du temps, dans le faux plafond et la pièce. Le point commun de toutes les expérimentations est que la concentration du chlorure d'hydrogène dans le faux plafond passe par un maximum puis décroît rapidement, alors qu'aucun autre des gaz contrôlés ne démontrent une telle décroissance de la concentration. La concentration maximale du chlorure d'hydrogène, mesurée dans le faux plafond, pour des expérimentations à grande échelle, est de 3 000 ppm, ce qui représente, en gros, un tiers de la totalité des chlorures émanant de fils. La concentration maximale, mesurée dans la pièce proche du plancher, est 200 ppm.

NOTE - Les valeurs des concentrations de gaz dans le texte et la figure 14 sont exprimées en unité ppm, c'est-à-dire une concentration par unité de volume. Une conversion en des concentrations exprimées en masse, par exemple mg/m^3 , n'est pas pratique car la température des gaz n'est pas fixe.

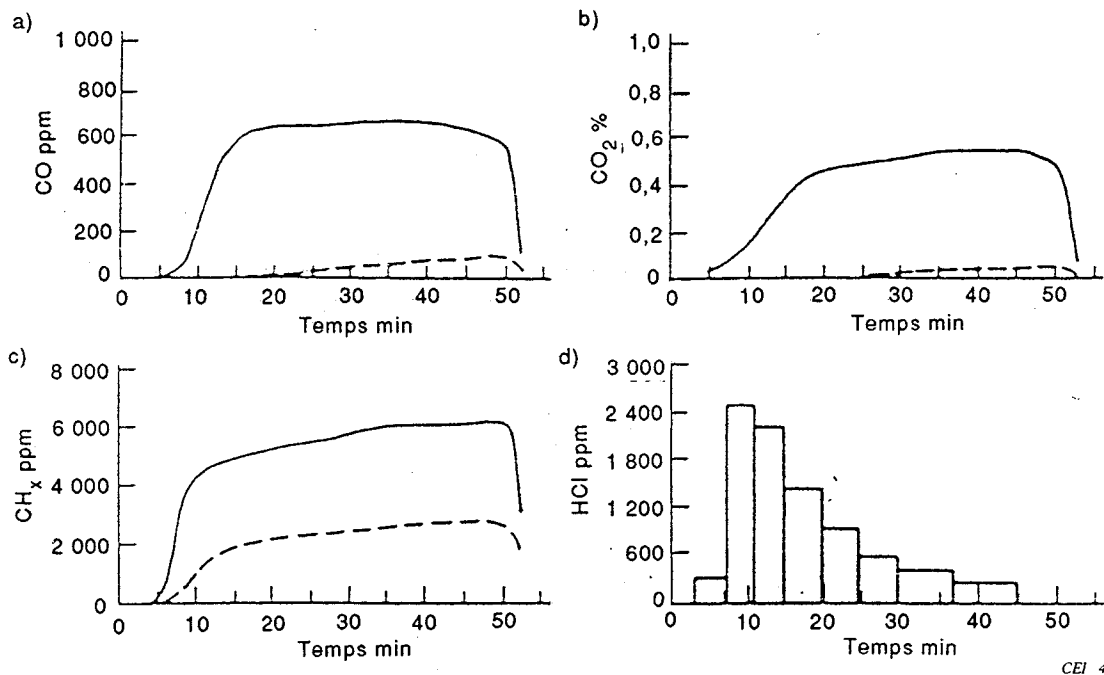


Figure 14 - Concentration des gaz de CO a), CO_2 b), CH_x c), et HCl d) dans le faux plafond (—), et dans la pièce (---) pour un feu à grande échelle, avec des fils électriques gainés PVC, comme seul combustible dans le faux plafond [10]

Metal surfaces, exposed to air under normal (non-fire) conditions, often have a chloride deposit up to 10 mg/m^2 . Such an amount is normally not harmful [16]. However, after exposure to smoke from a fire involving polyvinyl chloride (PVC), a surface contamination of up to thousands of milligrams per square metre can be found, often causing significant damage. Chloride contamination of electrotechnical equipment can be removed by, for instance, detergents, solvents, neutralizing agents, ultrasonic vibrations, and clean air jets. The procedures are not always effective, sometimes giving a temporary but not permanent cure [17].

Experiments, involving PVC-coated electrical wires and carried out on a scale large enough to be representative of real fires, are reported in [18]. The scenario studied is the decomposition of a PVC wire insulation (length of wire 9,14 m, mass of PVC and paper 24 g/m and 4 g/m respectively) at a current overload for 45 min, with no air recycling in a plenum space of a room the size of which is: length 3,6 m, width 2,4 m and height 3,6 m including the plenum space above a level of 2,4 m. Figure 14 exemplifies the results, showing measured gas concentrations of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), un-burned hydrocarbons (CH_x), and hydrogen chloride (HCl) as a function of time in the plenum and the room. Characteristic for all experiments is that the concentration of hydrogen chloride in the plenum passes through a maximum and then decreases sharply while none of the other monitored gases show any similar decay in concentration. The maximum concentration of hydrogen chloride, measured in the plenum in the large-scale experiments, is 3 000 ppm which represents roughly one-third of the total chlorine of the wires. The maximum concentration, measured in the room below the plenum, is 200 ppm.

NOTE - The values of gas concentrations in the text and figure 14 are based on measurements using the unit ppm, i.e. concentration by volume. A conversion to concentration by mass, e.g. mg/m^3 of these values is impractical as the gas temperature is not fixed.

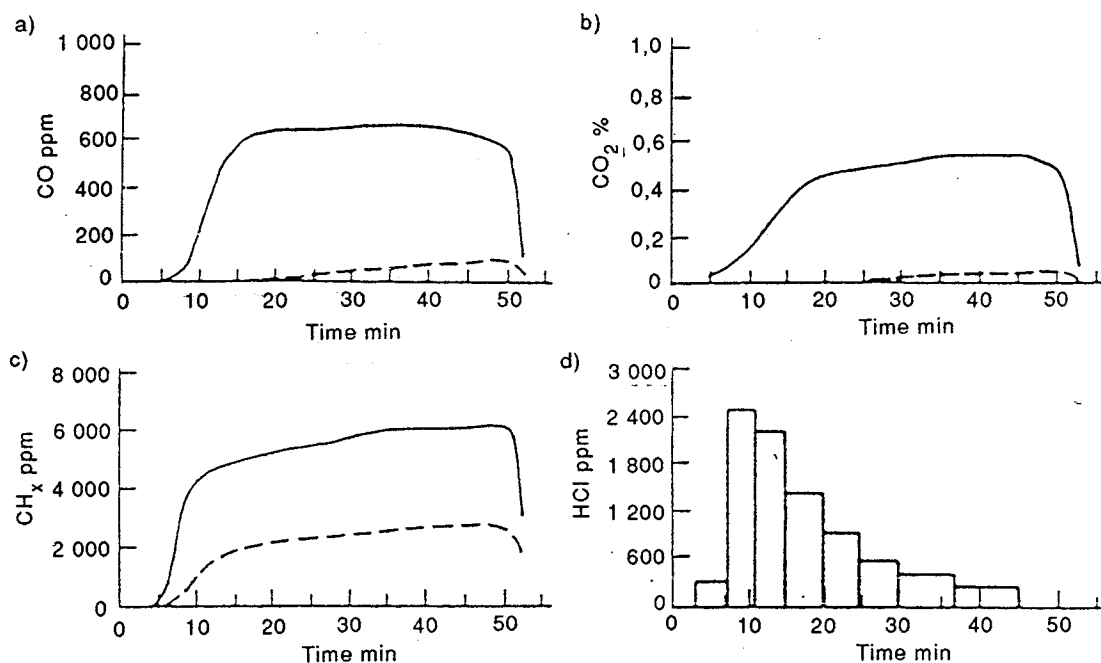


Figure 14 - Gas concentrations of CO a), CO_2 b), CH_x c), and HCl d) in plenum (—), and room (---) in a large-scale fire with PVC-coated wires in the plenum as the only fuel [10]

Annexe A
(informative)

Bibliographie

Dans le texte principal, la référence aux points contenus dans la liste suivante est faite en citant le numéro approprié au point entre crochets [].

Annex A
(informative)

Bibliography

In the main text, reference to items in the following list is made by quoting the relevant item number in square brackets [].

- [1] McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G. and Harkleroad, M.F., Estimating Room Temperatures and the Likelihood of Flashover Using Fire Data Correlations. Fire Technology 17: 98-119 (1981).
- [2] Aldén, M., Blomqvist, J., Edner, H. and Lundberg., Raman Spectroscopy in the Analysis of Fire Gases. Fire and Materials 7: 32-37 (1983).
- [3] Sundström, B., Full Scale Fire Testing of Surface Materials – Measurements of Heat Release and Productions of Smoke and Gas Species. Fire Technology, Swedish National Testing Institute, Technical Report SP-RAPP 1986: 45, Borås (1986).
- [4] Häggglund, B., Hazardous Conditions in Single Enclosures Subjected to Fire – A Parameter Study. National Defence Research Institute (FOA), Report C 20524-D6, Stockholm (1983).
- [5] Quintiere, J.G., Birky, M., Macdonald, F. and Smith, G., An Analysis of Smoldering Fires in Closed Compartments and Their Hazard Due to Carbon Monoxide. National Bureau of Standards, NBSIR 82-2556, Gaithersburg, Maryland (1982).
- [6] Magnusson, S.E. and Pettersson, O., Functional Approaches – An Outline. CIB Symposium "Fire Safety in Buildings: Need and Criteria", held in Amsterdam 1977-06-02/03, CIB Proceedings, Publication 38: 120-145 (1978).
- [7] Arnault, P., Ehm, H. and Kruppa, J., Rapport Expérimental sur les Essais avec des Feux Naturels Exécutés dans la Petite Installation, Maizieres-les-Metz. Convention Européenne de la Construction Métallique, Document CECM-3/73-11-F (1973).
- [8] Pettersson, O., Structural Fire Behaviour – Development Trends. International Association for Fire Safety Science, First International Symposium, held at NBS in Gaithersburg, Maryland 1985-10-07/11, Proceedings 1986: 229-247 (1986).
- [9] National Swedish Board of Physical Planning and Building, Brandteknisk dimensionering (Fire Engineering Design). Comments on SBN (Swedish Building Code), No. 1, Stockholm (1976).
- [10] Ondrus, J., Fire Hazards of Façades with Externally Applied Additional Thermal Insulation. Full Scale Experiments. Lund Institute of Technology, Division of Building Fire Safety and Technology, Report LUTVDG/(TVBB-3021), Lund (1985).
- [11] Wakamatsu, T., Smoke Movement in Building Fires – Field Experiment in Welfare Ministry Building and Analysis of Sennichi Building Fire. Ministry of Construction, Building Research Institute, Research Paper No. 61, Tokyo (1975).

- [12] Holmstedt, G., Magnusson, S.E. and Thomas, P.H., Detector Environment and Detector Response. A Survey. Lund Institute of Science and Technology, Department of Fire Safety Engineering, Report LUTVDG/(TVBB-3039), Lund (1987).
- [13] Seader, J.D. and Einhorn, J.N., Some Physical, Chemical, Toxicological, and Physiological Aspects of Fire Smokes. Sixteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, Pa., pp. 1423-1445 (1977).
- [14] Jin, T., Visibility Through Fire Smoke, Part 5. Allowable Smoke Density for Escape from Fire. Fire Research Institute of Japan, Report No. 42, Tokyo (1976).
- [15] UL 217, Standard for Single and Multiple Station Smoke Detectors. Underwriters Laboratories, Northbrook (1976).
- [16] Sandmann, H., Widmer, G., The Corrosiveness of Fluoride – Containing Fire Gases on Selected Steel. Fire and Materials, Vol. 10, pp. 11-19 (1986).
- [17] Friedman, R., Principles of Fire Protection Chemistry. National Fire Protection Association, NFPA PFPC-89, Second Edition (1989).
- [18] Beitel, J.J., Bertelo, C.A., Carroll, W.F., Gardner, R.O., Grand, A.F., Hirschler, M.M. and Smith, G.F., Hydrogen Chloride Transport and Decay in a Large Apparatus I. Decomposition of Poly (Vinyl Chlorid) Wire Insulation in a Plenum by Current Overload, Journal of Fire Sciences, Vol. 4, pp. 15-41 (1986).
- [19] Pettersson, O., Current Fire Research and Design – Particularly in View of Mathematical Modelling. Lecture at the CIB 9th Congress in Stockholm 1983-08-15/19. Lund Institute of Technology, Division of Building Fire Safety and Technology, Report LUTVDG/(TVBB-3018), Lund (1984).
- [20] ISO 5657: 1986, Essais au feu – Réaction au feu – Allumabilité des produits de bâtiment.
Fire tests – Reaction to fire – Ignitability of building products.
- [21] ISO/DIS 5658, Essais de réaction au feu – Essai de propagation de flamme sur des échantillons de produits de bâtiment en configuration verticale (en préparation).
Reaction to fire tests – Spread of flame test on building products specimen in vertical configuration (in preparation).
- [22] ISO/DIS 5660, Essais de réaction au feu – Débit calorifique des produits de bâtiment (en préparation).
Reaction to fire tests – Rate of heat release front building products (in preparation).
- [23] ISO TR 5924: 1989, Essais au feu – Réaction au feu – Fumée générée par les produits de bâtiment (essai en chambre double).
Fire tests – Reaction to fire – Smoke generated by building products (dual-chamber test).
- [24] ISO TR 9122-1: 1989, Essais de toxicité des effluents du feu – Partie 1: Généralités.
Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General.
- [25] ISO/DIS 9705, Essais au feu – Essai dans une pièce en vraie grandeur pour les produits de surface (en préparation).
Fire tests – Full scale room test for surface products (in preparation).

ICS 19.040
