

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60695-6-1**

Deuxième édition  
Second edition  
2005-05

---

---

**PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ  
BASIC SAFETY PUBLICATION**

---

---

**Essais relatifs aux risques du feu –**

**Partie 6-1:  
Opacité des fumées –  
Lignes directrices générales**

**Fire hazard testing –**

**Part 6-1:  
Smoke obscuration –  
General guidance**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60695-6-1:2005

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60695-6-1**

Deuxième édition  
Second edition  
2005-05

---

---

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ  
BASIC SAFETY PUBLICATION

---

---

**Essais relatifs aux risques du feu –**

**Partie 6-1:  
Opacité des fumées –  
Lignes directrices générales**

**Fire hazard testing –**

**Part 6-1:  
Smoke obscuration –  
General guidance**

© IEC 2005 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 procédé, 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**V**

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
INTRODUCTION .....	10
1 Domaine d'application .....	12
2 Références normatives .....	12
3 Termes, définitions et symboles .....	14
3.1 Termes et définitions .....	14
3.2 Symboles .....	20
4 Aspects généraux des méthodes d'essais relatives à la fumée .....	22
4.1 Scénarios et modèles feu .....	22
4.2 Facteurs affectant la production de fumée .....	26
5 Principes de mesure de la fumée .....	28
5.1 Loi de Bouguer .....	28
5.2 Surface d'extinction .....	30
5.3 Unités $\log_{10}$ .....	32
5.4 Sources lumineuses .....	32
5.5 Surface d'extinction spécifique .....	32
5.6 Densité optique massique .....	34
5.7 Visibilité .....	36
6 Méthodes statiques et dynamiques .....	36
6.1 Méthodes statiques .....	36
6.2 Méthodes dynamiques .....	36
7 Méthodes d'essais .....	40
7.1 Considérations sur les méthodes d'essais .....	40
7.2 Sélection de l'éprouvette d'essai .....	40
8 Présentation des résultats .....	40
9 Relation entre les données et l'évaluation du risque .....	42
Annexe A (informative) Calcul de la visibilité .....	46
Annexe B (informative) Relations entre $D_s$ et certains autres paramètres relatifs à la fumée mesurés suivant la CEI 60695-6-30 et la CEI 60695-6-31 .....	50
Annexe C (informative) Relations entre le pourcentage de transmission mesuré dans une enceinte cubique de 3 m («three metre cube») et la surface d'extinction .....	56
Bibliographie .....	60
Figure 1 – Diagramme représentant les différentes phases du développement d'un feu à l'intérieur d'un local .....	24
Figure 2 – Atténuation de la lumière par la fumée .....	30
Figure 3 – Surface d'extinction .....	30
Figure 4 – Mesure dynamique de la fumée .....	38
Figure 5 – Evaluation et considération des méthodes d'essais de fumée .....	44

## CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references.....	13
3 Terms, definitions and symbols.....	15
3.1 Terms and definitions.....	15
3.2 Symbols.....	21
4 General aspects of smoke test methods.....	23
4.1 Fire scenarios and fire models.....	23
4.2 Factors affecting smoke production.....	27
5 Principles of smoke measurement.....	29
5.1 Bouguer's law.....	29
5.2 Extinction area.....	31
5.3 Log <sub>10</sub> units.....	33
5.4 Light sources.....	33
5.5 Specific extinction area.....	33
5.6 Mass optical density.....	35
5.7 Visibility.....	37
6 Static and dynamic methods.....	37
6.1 Static methods.....	37
6.2 Dynamic methods.....	37
7 Test methods.....	41
7.1 Consideration of test methods.....	41
7.2 Selection of test specimen.....	41
8 Presentation of data.....	41
9 Relevance of data to hazard assessment.....	43
Annex A (informative) Calculation of visibility.....	47
Annex B (informative) Relationships between $D_s$ and some other smoke parameters as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31.....	51
Annex C (informative) Relationships between percent transmission, as measured in a "three metre cube" enclosure, and extinction area.....	57
Bibliography.....	61
Figure 1 – Chart of different phases in the development of a fire within a compartment.....	25
Figure 2 – Attenuation of light by smoke.....	31
Figure 3 – Extinction area.....	31
Figure 4 – Dynamic smoke measurement.....	39
Figure 5 – Evaluation and consideration of smoke test methods.....	45

Figure A.1 – Visibilité ( $\omega$ ) en fonction du coefficient d'extinction ( $k$ ) ..... 46

Figure B.1 – Paramètres relatifs à la fumée se rapportant à  $D_s$ , mesurés suivant la CEI 60695-6-30 et la CEI 60695-6-31 ..... 54

Figure C.1 – Rapport entre la surface d'extinction (quantité de fumée) et le pourcentage de transmission mesuré dans l'enceinte «three metre cube»..... 58

Tableau 1 – Classification générale des feux (ISO/TR 9122-1)..... 24

Tableau B.1 – Conversion de  $D_s$  en d'autres paramètres relatifs à la fumée mesurés suivant la CEI 60695-6-30 et la CEI 60695-6-31 ..... 52

Tableau C.1 – Conversion du pourcentage de transmission mesuré dans l'enceinte «three metre cube» en quantité de fumée (surface d'extinction)..... 56

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-1:2005

Figure A.1 – Visibility ( $\omega$ ) versus extinction coefficient ( $k$ ).....	47
Figure B.1 – Smoke parameters related to $D_S$ as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31 .....	55
Figure C.1 – Extinction area (amount of smoke) related to percent transmission as measured in the "three metre cube" .....	59
Table 1 – General classification of fires (ISO/TR 9122-1) .....	25
Table B.1 – Conversion from $D_S$ to some other smoke parameters as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31 .....	53
Table C.1 – Conversions from percent transmission, as measured in the "three metre cube" to amount of smoke (extinction area).....	57

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-1:2005

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

#### Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales

##### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60695-6-1 a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition de la CEI 60695-6-1, publiée en 2001, dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition antérieure sont indiquées ci-dessous:

- Titre modifié.
- Mise à jour des références normatives.
- Ajout de termes et de définitions.
- Nombreuses modifications rédactionnelles de nature technique dans toute la publication.
- Ajout d'un logigramme pour l'évaluation et la considération des méthodes d'essais de fumée.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**FIRE HAZARD TESTING –****Part 6-1: Smoke obscuration –  
General guidance**

## FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60695-6-1 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This second edition cancels and replaces the first edition of IEC 60695-6-1 published in 2001. It constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- Modified title.
- Updated normative references.
- Expanded terms and definitions.
- Numerous editorial changes of a technical nature throughout the publication.
- A flowchart has been added for the evaluation and consideration of smoke test methods.

Elle a le statut de publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104 et au Guide ISO/CEI 51.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/692/FDIS	89/696/RVD

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

La présente norme doit être utilisée conjointement avec la CEI 60695-6-2.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La série CEI 60695-6, sous le titre général *Essais relatifs aux risques du feu*, comprend les parties suivantes

- Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales
- Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais
- Partie 6-30: Opacité des fumées – Guide et méthodes d'essai pour l'évaluation des dangers d'obscurcissement de la vision par les fumées provenant de produits électrotechniques impliqués dans des feux – Méthode statique à petite échelle – Détermination de l'opacité des fumées – Description de l'appareillage
- Partie 6-31: Opacité des fumées – Méthode statique à petite échelle – Matériaux

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

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

FDIS	Report on voting
89/692/FDIS	89/696/RVD

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

This standard is to be used in conjunction with IEC 60695-6-2.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The IEC 60695-6 series, under the general heading *Fire hazard testing*, consists of the following parts

- Part 6-1: Smoke obscuration – General guidance
- Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods
- Part 6-30: Smoke obscuration – Guidance and test methods on the assessment of obscuration hazard of vision caused by smoke opacity from electrotechnical products involved in fires – Small scale static method - Determination of smoke opacity - Description of the apparatus
- Part 6-31: Smoke obscuration – Small-scale static test – Materials

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

## INTRODUCTION

Il faut prendre en compte le risque de feu dans tout circuit électrique et l'objectif de la conception des composants, des circuits ou des équipements, ainsi que le choix des matériaux, est de réduire la probabilité d'un incendie même dans l'éventualité d'une utilisation anormale, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance prévisibles.

Les produits électrotechniques, initialement victimes de l'incendie, peuvent contribuer à l'incendie. L'un des risques y participant est la production de fumée, qui peut entraîner une perte de vision et/ou une désorientation pouvant entraver l'évacuation des immeubles ou la lutte contre l'incendie.

Les particules de fumée réduisent la visibilité du fait de l'absorption de la lumière et de sa diffusion. En conséquence, les personnes peuvent avoir des difficultés à trouver les signaux de sortie, les portes et les fenêtres. La visibilité est souvent définie comme étant la distance à partir de laquelle un objet n'est plus visible. Elle dépend de nombreux facteurs, mais des relations étroites ont été établies entre la visibilité et les mesures du coefficient d'extinction de la fumée – voir Annexe A.

La production de fumée et ses propriétés optiques peuvent être mesurées avec d'autres propriétés du feu telles que le dégagement de chaleur, la propagation des flammes, et la production de gaz toxiques et d'effluents corrosifs. La présente partie de la CEI 60695-6 sert de guide et traite de l'obscurcissement de la lumière par la fumée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-1:2005

## INTRODUCTION

The risk of fire needs to be considered in any electrical circuit, and the objective of component, circuit and equipment design, as well as the choice of material, is to reduce the likelihood of fire, even in the event of foreseeable abnormal use, malfunction or failure.

Electrotechnical products, primarily victims of a fire, may nevertheless contribute to the fire. One of the contributing hazards is the release of smoke, which may cause loss of vision and/or disorientation which could impede escape from the building or fire fighting.

Smoke particles reduce the visibility due to light absorption and scattering. Consequently, people may experience difficulties in finding exit signs, doors and windows. Visibility is often determined as the distance at which an object is no longer visible. It depends on many factors, but close relationships have been established between visibility and the measurements of the extinction coefficient of smoke – see Annex A.

The production of smoke and its optical properties can be measured as well as other fire properties, such as heat release, flame spread, and the production of toxic gas and corrosive effluent. This part of IEC 60695-6 serves as a guidance document and focuses on obscuration of light by smoke.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-1:2005

## ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

### Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60695 fournit des lignes directrices sur:

- a) la mesure optique de l'obscurcissement par la fumée;
- b) les aspects généraux des méthodes d'essais optiques de la fumée;
- c) des considérations concernant les méthodes d'essais;
- d) l'expression des résultats d'essais;
- e) la pertinence des résultats des mesures optiques de la fumée pour l'évaluation des risques.

L'une des responsabilités d'un comité d'études consiste, le cas échéant, à utiliser les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses publications.

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements)

CEI 60695-1-1, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-1: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Directives générales*

CEI 60695-4:2001<sup>1</sup>, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu*

CEI 60695-6-2:2001, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais*

CEI 60695-6-30, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6: Guide et méthodes d'essai pour l'évaluation des dangers d'obscurcissement de la vision par les fumées provenant de produits électrotechniques impliqués dans des feux – Section 30: Méthode statique à petite échelle – Détermination de l'opacité des fumées – Description de l'appareillage*

CEI 60695-6-31, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-31: Opacité des fumées – Méthode statique à petite échelle – Matériaux*

Guide CEI 104:1997, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*

ISO/TR 9122-1:1989, *Essais de toxicité des effluents du feu – Partie 1: Généralités*

---

<sup>1</sup> Edition consolidée 2.2 (2001) qui comprend la CEI 60695-4 (1993) ainsi que l'amendement 1 (1995) et l'amendement 2 (2001).

## FIRE HAZARD TESTING –

### Part 6-1: Smoke obscuration – General guidance

#### 1 Scope

This part of IEC 60695 gives guidance on:

- a) optical measurement of smoke obscuration;
- b) general aspects of optical smoke test methods;
- c) consideration of test methods;
- d) expression of smoke test data;
- e) relevance of optical smoke data to hazard assessment.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications.

#### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60695-1-1, *Fire hazard testing – Part 1-1: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*

IEC 60695-4:2001<sup>1</sup>, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests*

IEC 60695-6-2:2001, *Fire hazard testing – Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods*

IEC 60695-6-30, *Fire hazard testing – Part 6: Guidance and test methods on the assessment of obscuration hazard of vision caused by smoke opacity from electrotechnical products involved in fires – Section 30: Small-scale static method – Determination of smoke opacity – Description of the apparatus*

IEC 60695-6-31, *Fire hazard testing – Part 6-31: Smoke obscuration – Small-scale static test – Materials*

IEC Guide 104:1997, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

ISO/TR 9122-1:1989, *Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General*

---

<sup>1</sup> Consolidated edition 2.2 (2001) that includes IEC 60695-4 (1993), its amendment 1 (1995) and its amendment 2 (2001).

ISO 5659-2:1994, *Plastiques – Production de fumée – Partie 2: Détermination de la densité optique par un essai en enceinte unique*

ISO/CEI 13943:2000, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

ISO/CEI Guide 51:1999, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

### 3 Termes, définitions et symboles

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions et symboles suivants s'appliquent.

##### 3.1.1

##### **combustion**

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

NOTE La combustion émet généralement des effluents accompagnés de flammes et/ou d'incandescence.

[ISO/CEI 13943, définition 23]

##### 3.1.2

##### **surface d'extinction de la fumée**

produit du coefficient d'extinction par le volume occupé par la fumée

NOTE C'est une mesure de quantité de fumée.

[CEI 60695-4, définition 2.130]

##### 3.1.3

##### **coefficient d'extinction de la fumée**

logarithme népérien de l'opacité de la fumée divisé par la longueur du faisceau lumineux utilisé pour mesurer l'opacité de la fumée

[CEI 60695-4, définition 2.131]

##### 3.1.4

##### **feu; incendie**

a) feu: combustion caractérisée par une émission de chaleur et d'effluents accompagnée de fumée et/ou de flammes et/ou d'incandescence;

b) incendie: combustion rapide qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace

[CEI 60695-4, définition 2.29]

##### 3.1.5

##### **effluents du feu**

ensemble des gaz, particules ou aérosols dégagés par combustion ou pyrolyse

[CEI 60695-4, définition 2.33]

##### 3.1.6

##### **risques du feu; danger d'incendie**

possibilité de blessures ou de perte de la vie et/ou de dégâts matériels que représente un incendie

[CEI 60695-4, définition 2.36]

ISO 5659-2:1994, *Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test*

ISO/IEC 13943:2000, *Fire safety – Vocabulary*

ISO/IEC Guide 51:1999. *Safety aspects – Guidelines for inclusion in standards*

### 3 Terms, definitions and symbols

#### 3.1 Terms and definitions

For the purpose of this document, the following terms, definitions and symbols apply.

##### 3.1.1

##### **combustion**

exothermic reaction of a substance with an oxidizer

NOTE Combustion generally emits effluent accompanied by flames and/or visible light.

[ISO/IEC 13943, definition 23]

##### 3.1.2

##### **extinction area of smoke**

product of the extinction coefficient and the volume occupied by the smoke

NOTE It is a measure of the amount of smoke.

[IEC 60695-4, definition 2.130]

##### 3.1.3

##### **extinction coefficient of smoke**

natural logarithm of the opacity of smoke divided by the path length of the light used to measure the smoke opacity

[IEC 60695-4, definition 2.131]

##### 3.1.4

##### **fire**

- a) process of combustion characterized by the emission of heat and effluent accompanied by smoke, and/or flame, and/or glowing;
- b) rapid combustion spreading uncontrolled in time and space

[IEC 60695-4, definition 2.29]

##### 3.1.5

##### **fire effluent**

total gaseous, particulate or aerosol effluent from combustion or pyrolysis

[IEC 60695-4, definition 2.33]

##### 3.1.6

##### **fire hazard**

potential for injury or loss of life and/or damage to property by fire

[IEC 60695-4, definition 2.36]

### 3.1.7

#### **modèle feu**

procédé de laboratoire, incluant aussi bien l'appareillage que le mode opératoire, destiné à simuler une certaine étape d'un feu réel

[CEI 60695-4, définition 2.120]

### 3.1.8

#### **scénario feu**

description détaillée des conditions, y compris de l'environnement, dans lesquelles se déroulent une ou plusieurs étapes d'un feu réel à un emplacement spécifique ou d'une simulation dans un essai en vraie grandeur, depuis la situation avant le début jusqu'à la fin de la combustion

[ISO/CEI 13943, définition 58]

### 3.1.9

#### **embrasement éclair; flash-over**

passage brusque à l'état de combustion généralisée en surface de l'ensemble des matériaux combustibles dans un espace fermé

[CEI 60695-4, définition 2.59]

### 3.1.10

#### **éclairage énergétique**

quantité d'énergie thermique émise, transmise ou reçue par unité de surface et de temps

NOTE Il est exprimée en watts par mètre carré.

[ISO/CEI 13943, définition 85]

### 3.1.11

#### **allumage**

action d'allumer

NOTE Le terme "ignition" a en français un sens très différent [état d'un corps en combustion].

[ISO/CEI 13943, définition 96]

### 3.1.12

#### **essai à grande échelle**

essai dont la taille dépasse celle d'un essai sur une pailleasse typique de laboratoire

[CEI 60695-4, définition 2.122]

### 3.1.13

#### **densité optique massique de la fumée**

densité optique multipliée par un facteur,  $V/(L \times \Delta m)$ , où  $V$  est le volume de la chambre d'essai,  $\Delta m$  est la perte de masse de l'éprouvette d'essai et  $L$  est la longueur du faisceau lumineux

[CEI 60695-4, définition 2.133]

### 3.1.14

#### **opacité (de la fumée)**

rapport ( $I/T$ ) du flux lumineux incident ( $I$ ) au flux lumineux transmis ( $T$ ) à travers la fumée, dans des conditions d'essai spécifiées

[CEI 60695-4, définition 2.89]

**3.1.7****fire model**

a laboratory process, including both the apparatus and the mode of operation, intended to simulate a certain stage of a real fire

[IEC 60695-4, definition 2.120]

**3.1.8****fire scenario**

detailed description of conditions, including environmental, of one or more stages from before ignition to after completion of combustion in an actual fire at a specific location or in a real-scale simulation

[ISO/IEC 13943, definition 58]

**3.1.9****flash-over**

the rapid transition to a state of total surface involvement in a fire of combustible materials within an enclosure

[IEC 60695-4, definition 2.59]

**3.1.10****heat flux**

amount of thermal energy emitted, transmitted or received per unit area and unit time

NOTE It is expressed in watts per square metre.

[ISO/IEC 13943, definition 85]

**3.1.11****ignition**

initiation of combustion

NOTE The term "ignition" in French has a very different meaning [state of body combustion].

[ISO/IEC 13943, definition 96]

**3.1.12****large scale test**

a test, the size of which exceeds that of a typical laboratory bench test

[IEC 60695-4, definition 2.122]

**3.1.13****mass optical density of smoke**

optical density multiplied by a factor,  $V/(L \times \Delta m)$ , where  $V$  is the volume of the test chamber,  $\Delta m$  is the mass loss of the test specimen and  $L$  is the light path length

[IEC 60695-4, definition 2.133]

**3.1.14****opacity (of smoke)**

the ratio ( $I/T$ ) of incident luminous flux ( $I$ ) to transmitted luminous flux ( $T$ ) through smoke, under specified test conditions

[IEC 60695-4, definition 2.89]

### 3.1.15

#### **densité optique (de la fumée) [ $\lg(I/T)$ ]**

logarithme décimal de l'opacité de la fumée (voir aussi *densité optique spécifique*)

[CEI 60695-4, définition 2.90]

### 3.1.16

#### **essai en vraie grandeur**

essai qui simule une situation d'utilisation finale dans la taille et le décor environnant

[CEI 60695-4, définition 2.123]

### 3.1.17

#### **essai à petite échelle**

essai qui peut être effectué sur une paillasse typique de laboratoire

[CEI 60695-4, définition 2.124]

### 3.1.18

#### **fumée**

ensemble visible de particules solides et/ou liquides en suspension dans les gaz résultant d'une combustion ou d'une pyrolyse

[CEI 60695-4, définition 2.101]

### 3.1.19

#### **obscurcissement par la fumée**

réduction de la visibilité due à la fumée

[CEI 60695-4, définition 2.102]

### 3.1.20

#### **vitesse de production de fumée**

surface d'extinction de la fumée produite, par unité de temps, par la combustion d'un matériau dans des conditions d'essai spécifiées

### 3.1.21

#### **vitesse de dégagement de fumée**

voir «vitesse de production de fumée»

### 3.1.22

#### **surface spécifique d'extinction de la fumée**

surface d'extinction de la fumée divisée par la perte de masse de l'éprouvette

[CEI 60695-4, définition 2.137]

### 3.1.23

#### **densité optique spécifique (de la fumée)**

densité optique multipliée par un facteur géométrique  $V/AL$ , où  $V$  est le volume de la chambre d'essai,  $A$  est l'aire de la surface exposée de l'éprouvette, et  $L$  est la longueur du faisceau lumineux

NOTE L'utilisation du terme 'spécifique' ne signifie pas, dans ce cas-ci, 'masse par unité', mais plutôt une quantité sans dimension associée à un appareillage d'essai particulier et à une aire de surface d'éprouvette.

### 3.1.24

#### **visibilité**

distance maximale à laquelle un objet de taille, de brillance et de contraste définis peut être vu et reconnu

**3.1.15****optical density (of smoke) [ $\lg(I/T)$ ]**

common logarithm of the opacity of smoke (see also *specific optical density*)

[IEC 60695-4, definition 2.90]

**3.1.16****realscale test**

a test which simulates an end-use situation in both size and surroundings

[IEC 60695-4, definition 2.123]

**3.1.17****small scale test**

a test which may be made on a typical laboratory bench

[IEC 60695-4, definition 2.124]

**3.1.18****smoke**

a visible suspension of solid and/or liquid particles in gases resulting from combustion or pyrolysis

[IEC 60695-4, definition 2.101]

**3.1.19****smoke obscuration**

the reduction in visibility due to smoke

[IEC 60695-4, definition 2.102]

**3.1.20****smoke production rate**

extinction area of smoke produced, per unit time, by the combustion of a material under specified test conditions

**3.1.21****smoke release rate**

see "smoke production rate"

**3.1.22****specific extinction area of smoke**

extinction area of smoke divided by the mass loss of the test specimen

[IEC 60695-4, definition 2.137]

**3.1.23****specific optical density (of smoke)**

optical density multiplied by a geometric factor  $V/AL$ , where  $V$  is the volume of the test chamber,  $A$  is the exposed surface area of the test specimen and  $L$  is the light path length

NOTE The use of the term 'specific' does not, in this case, denote 'per unit mass' but rather denotes a dimensionless quantity associated with a particular test apparatus and exposed surface area of the test specimen.

**3.1.24****visibility**

maximum distance at which an object of defined size, brightness and contrast can be seen and recognized

### 3.2 Symboles

Symbole	Grandeur	Unités types
$A$	surface exposée de l'éprouvette d'essai	$m^2$
$D$	coefficient d'absorption linéaire décimal (communément appelé densité optique par mètre)	$m^{-1}$
$D'$	densité optique	sans dimension
$D_{\text{mass}}$	densité optique massique	$m^2 \text{ kg}^{-1}$
$D_s$	densité optique spécifique	sans dimension
$D_{\text{max}}$ (also $D_m$ )	densité optique spécifique maximale	sans dimension
$I$	intensité du flux lumineux incident	W
$I/T$	rapport du flux lumineux incident sur le flux lumineux transmis	sans dimension
$k$	coefficient d'absorption linéaire népérien (communément appelé coefficient d'extinction)	$m^{-1}$
$L$	longueur du flux lumineux traversant la fumée	m
$\Delta m$	perte de masse de l'éprouvette d'essai	kg
$\dot{m}$	vitesse de perte de masse	$\text{kg s}^{-1}$
$S$	surface d'extinction de la fumée (aussi fumée totale)	$m^2$
$\dot{S}$	vitesse de production de la fumée (vitesse de changement de la surface d'extinction)	$m^2 \text{ s}^{-1}$
$t$	temps	s
$\Delta t$	intervalle de temps	s
$T$	intensité du flux lumineux transmis	W
$V$	volume de la chambre	$m^3$
$\dot{V}$	vitesse du flux volumique de la fumée	$m^3 \text{ s}^{-1}$
$\sigma_f$	surface d'extinction spécifique	$m^2 \text{ kg}^{-1}$
$\gamma$	constante de proportionnalité entre la visibilité et le coefficient d'extinction	sans dimension
$\omega$	visibilité	m

NOTE 1 Les grandeurs basées sur  $\log_{10}$ , c'est-à-dire  $D$ ,  $D'$ ,  $D_{\text{max}}$ ,  $D_{\text{mass}}$  et  $D_s$ , ont des symboles semblables mais sont des grandeurs différentes et elles ont des unités différentes.

NOTE 2 L'utilisation du terme «spécifique» dans l'expression «densité optique spécifique»,  $D_s$ , ne signifie pas «par unité de masse».

### 3.2 Symbols

Symbol	Quantity	Typical units
$A$	exposed area of test specimen	m <sup>2</sup>
$D$	linear decadic absorption coefficient (commonly called optical density per metre)	m <sup>-1</sup>
$D'$	optical density	dimensionless
$D_{\text{mass}}$	mass optical density	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>
$D_s$	specific optical density	dimensionless
$D_{\text{max}}$ (also $D_m$ )	maximum specific optical density	dimensionless
$I$	intensity of incident light	W
$I/T$	ratio of incident light to transmitted light	dimensionless
$k$	linear Napierian absorption coefficient (commonly called extinction coefficient)	m <sup>-1</sup>
$L$	light path length through smoke	m
$\Delta m$	mass loss of test specimen	kg
$\dot{m}$	mass loss rate	kg s <sup>-1</sup>
$S$	smoke extinction area (also total smoke)	m <sup>2</sup>
$\dot{S}$	smoke production rate (rate of change of extinction area)	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
$t$	time	s
$\Delta t$	sampling time interval	s
$T$	intensity of transmitted light	W
$V$	volume of chamber	m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	volume flow rate of smoke	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
$\sigma_f$	specific extinction area	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>
$\gamma$	a constant of proportionality between visibility and extinction coefficient	dimensionless
$\omega$	visibility	m

NOTE 1 The quantities based on log<sub>10</sub>, i.e.  $D$ ,  $D'$ ,  $D_{\text{max}}$ ,  $D_{\text{mass}}$  and  $D_s$ , have similar symbols but they are different quantities and have different units.

NOTE 2 The use of the term "specific" in the case of specific optical density,  $D_s$ , does not denote "per unit mass".

## 4 Aspects généraux des méthodes d'essais relatives à la fumée

### 4.1 Scénarios et modèles feu

Au cours des dernières années, des progrès importants ont été réalisés dans l'analyse des effluents du feu. Il est reconnu que la composition du mélange des produits de combustion dépend particulièrement de la nature des matériaux en combustion, des températures sur le site et des conditions de ventilation, notamment l'accès d'oxygène sur le foyer de l'incendie. Le Tableau 1 montre comment les différentes phases d'un feu sont liées aux changements d'atmosphère. Les conditions à utiliser lors des essais de laboratoire (à petite ou à grande échelle) peuvent être tirées du tableau afin qu'elles correspondent, autant que possible, à des feux en vraie grandeur.

Un incendie met en œuvre un ensemble complexe de phénomènes physiques et chimiques étroitement liés. Il en résulte qu'il est difficile de simuler tous les aspects d'un incendie en vraie grandeur à l'aide d'un appareillage à échelle plus petite. Le problème de la validité du modèle feu est peut-être le problème technique le plus préoccupant lié à tous les essais de feu.

Un guide général pour l'évaluation des risques de feu des produits électrotechniques est donné dans la CEI 60695-1-1.

Après l'allumage, l'incendie peut se développer de différentes façons, selon les conditions d'environnement et la disposition des matériaux combustibles. Il est cependant possible d'établir un schéma général du développement d'un incendie à l'intérieur d'un local, dans lequel la courbe générale temps/température présente trois phases et une phase finale (voir Figure 1).

La phase 1 correspond à la naissance du feu avant la combustion soutenue avec flammes, s'accompagnant d'une faible augmentation de la température de la pièce. L'allumage et la production de fumée sont les principaux dangers durant cette phase. La phase 2 (feu en cours de développement) commence avec l'allumage et finit avec une augmentation exponentielle de la température de la pièce. La propagation des flammes et le dégagement de chaleur sont les principaux dangers, en plus de la fumée, durant cette phase. La phase 3 (feu pleinement développé) débute lorsque la surface de tous les objets combustibles dans la pièce s'est suffisamment décomposée pour que survienne un allumage soudain dans toute la pièce, avec un accroissement de température rapide et important (embrasement éclair).

A la fin de la phase 3, les combustibles et/ou l'oxygène ont été en grande partie consommés et la température décroît à une vitesse dépendant de la ventilation et du transfert de chaleur et de masse du système. C'est la phase finale.

A chacune de ces phases, il peut se former un mélange différent de produits de décomposition, et cela influence la densité de la fumée produite pendant ces phases. De plus, il est nécessaire d'avoir des informations sur le scénario d'incendie envisagé, en particulier, sur les conditions de flux thermique incident, l'oxygène disponible et les équipements de ventilation de la fumée.

## 4 General aspects of smoke test methods

### 4.1 Fire scenarios and fire models

During recent years, major advances have been made in the analysis of fire effluents. It is recognized that the composition of the mixture of combustion products is particularly dependent upon the nature of the combusting materials, the prevailing temperatures and ventilation conditions, especially access of oxygen to the seat of the fire. Table 1 shows how the different stages of a fire relate to the changing atmosphere. Conditions for use in laboratory tests (small or large-scale) can be derived from the table in order to correspond, as far as possible, to real-scale fires.

Fire involves a complex and interrelated array of physical and chemical phenomena. As a result, it is difficult to simulate all aspects of a real-scale fire in a smaller scale apparatus. This problem of fire model validity is perhaps the single most perplexing technical problem associated with all fire testing.

General guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products is given in IEC 60695-1-1.

After ignition, fire development may occur in different ways depending on the environmental conditions, as well as on the physical arrangement of the combustible materials. However, a general pattern can be established for fire development within a compartment, where the general temperature-time curve shows three stages, plus a decay stage (see Figure 1).

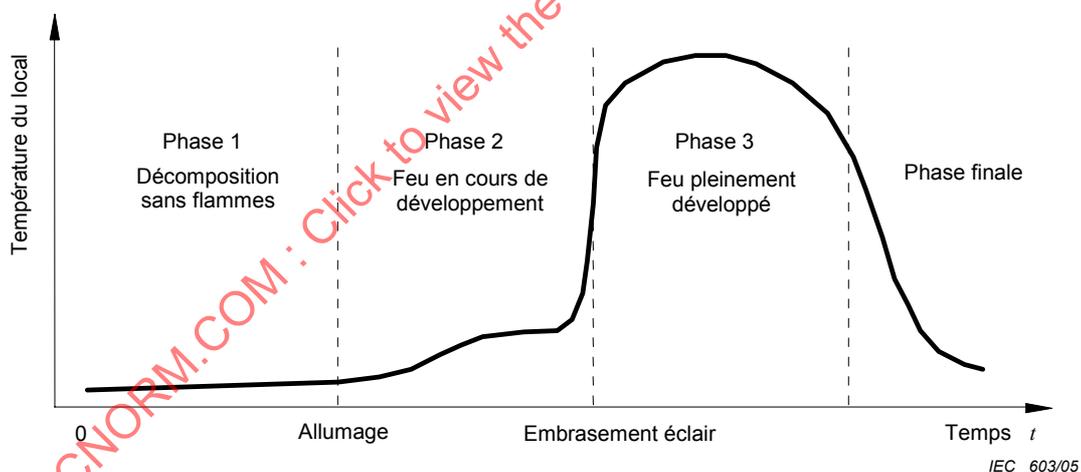
Stage 1 is the incipient stage of the fire prior to sustained flaming, with little rise in the fire room temperature. Ignition and smoke generation are the main hazards during this stage. Stage 2 (developing fire) starts with ignition and ends with an exponential rise in the fire room temperature. Spread of flame and heat release are the main hazards in addition to smoke during this stage. Stage 3 (fully developed fire) starts when the surface of all of the combustible contents of the room has decomposed to such an extent that sudden ignition occurs all over the room, with a rapid and large increase in temperature (flash-over).

At the end of stage 3, the combustibles and/or oxygen have been largely consumed and hence the temperature decreases at a rate which depends on the ventilation and the heat and mass transfer characteristics of the system. This is known as decay.

In each of these stages, a different mixture of decomposition products may be formed and this, in turn, influences the smoke density produced during that stage. Moreover, information is required on the fire scenario being considered, in particular the conditions of incident heat flux, oxygen availability and smoke-venting facilities.

**Tableau 1 – Classification générale des feux (ISO/TR 9122-1)**

Stades de feu		Volume d'oxygène *	Rapport CO <sub>2</sub> /CO **	Température * °C	Irradiance *** kW/m <sup>2</sup>
Phase 1	Décomposition sans flammes				
	a) Feu couvant (auto-entretenu)	21	Ne s'applique pas	<100	Ne s'applique pas
	b) Sans flammes (par oxydation)	5 à 21	Ne s'applique pas	<500	< 25
	c) Sans flammes (par pyrolyse)	<5	Ne s'applique pas	<1 000	Ne s'applique pas
Phase 2	Feu en cours de développement (avec flammes)	10 à 15	100 à 200	400 à 600	20 à 40
Phase 3	Feu pleinement développé (avec flammes)				
	a) Ventilation relativement faible	1 à 5	<10	600 à 900	40 à 70
	b) Ventilation relativement forte	5 à 10	<100	600 à 1 200	50 à 150
* Situation générale de l'environnement (moyenne) à l'intérieur du local.					
** Valeur moyenne dans la "plume" de feu près du feu.					
*** Irradiance incidente sur l'éprouvette d'essai (moyenne).					

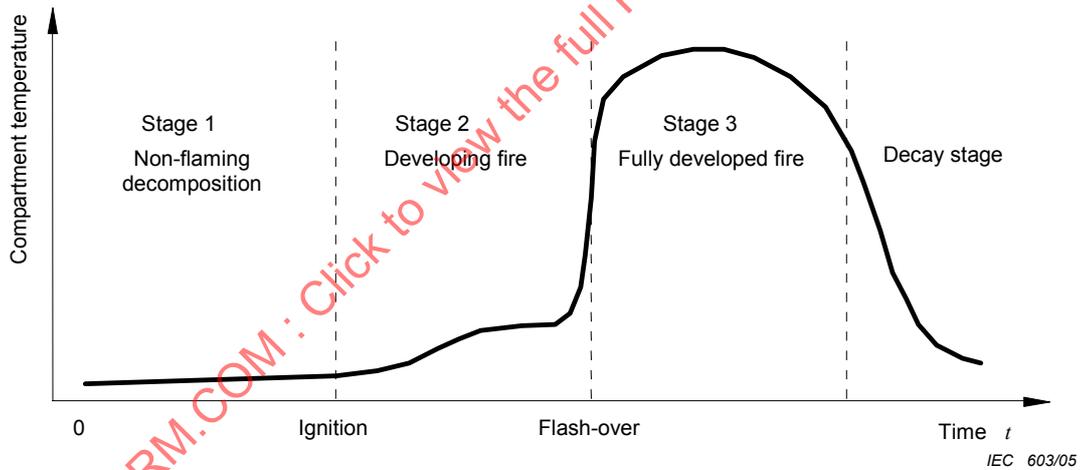


**Figure 1 – Diagramme représentant les différentes phases du développement d'un feu à l'intérieur d'un local**

**Table 1 – General classification of fires (ISO/TR 9122-1)**

Stages of fire		Oxygen *	Ratio CO <sub>2</sub> /CO **	Temperature *	Irradiance ***
		%		°C	kW/m <sup>2</sup>
Stage 1	Non-flaming decomposition				
	a) Smouldering (self-sustaining)	21	Not applicable	<100	Not applicable
	b) Non-flaming (oxidative)	5 to 21	Not applicable	<500	< 25
	c) Non-flaming (pyrolytic)	<5	Not applicable	<1 000	Not applicable
Stage 2	Developing fire (flaming)	10 to 15	100 to 200	400 to 600	20 to 40
Stage 3	Fully developed fire (flaming)				
	a) Relatively low ventilation	1 to 5	<10	600 to 900	40 to 70
	b) Relatively high ventilation	5 to 10	<100	600 to 1 200	50 to 150

\* General environmental condition (average) within compartment.  
 \*\* Mean value in fire plume near to fire.  
 \*\*\* Incident irradiance on to test specimen (average).



**Figure 1 – Chart of different phases in the development of a fire within a compartment**

## 4.2 Facteurs affectant la production de fumée

### 4.2.1 Généralités

De nombreux facteurs influent sur la production de fumée ainsi que sur ses caractéristiques. Une description complète de ces caractéristiques n'est pas possible, mais il est reconnu que plusieurs variables importantes exercent une influence.

### 4.2.2 Modes de décomposition

La fumée est fondamentalement le produit d'une combustion. Cette dernière peut être une combustion avec ou sans flammes, y compris le feu couvant, et ces différents modes de combustion peuvent produire différents types de fumée. Dans une combustion sans flammes, des substances volatiles sont dégagées aux températures élevées. Lorsqu'elles se mélangent avec de l'air frais, elles se condensent en gouttes sphériques qui apparaissent sous forme d'aérosol de fumée légèrement coloré. La combustion avec flammes produit une fumée noire, riche en carbone, dont les particules ont une forme très irrégulière. Les particules de fumée provenant de la combustion avec flammes vives sont formées en phase gazeuse et dans des zones où les concentrations d'oxygène sont assez basses pour causer une combustion incomplète. Les particules de fumée carbonneuse dans les flammes émettent une énergie rayonnante (identique à l'émission de corps noirs) qui est visible sous la forme d'une lumière jaune.

La taille des particules des gouttelettes sphériques provenant de la combustion sans flammes est généralement de l'ordre de  $1\ \mu\text{m}$ , celle des particules de suie irrégulières issues d'une combustion avec flammes vives est, par contre, souvent plus grande mais plus difficile à déterminer et elle dépend de la technique de mesure.

Dans les feux de bois, on observe souvent que la quantité de fumée est moins importante dans une combustion avec flammes que dans une combustion sans flammes. Cependant, en ce qui concerne les plastiques, une telle généralisation n'est pas possible: la fumée produite par un feu sans flammes peut être plus importante ou moins importante que celle produite lors d'une combustion avec flammes. Pour ces raisons, il est important de noter, pendant l'essai de fumée, s'il y a allumage ou pas, et, le cas échéant, les temps d'allumage et de disparition des flammes de l'éprouvette d'essai. En outre, une fumée froide, dont la couleur et la composition peuvent être sensiblement différentes de la fumée produite par la surface exposée, peut être émise par la face non visible des composites.

Le flux thermique sur l'éprouvette d'essai peut influencer sur la manière de brûler du matériau; il est intéressant d'évaluer la fumée produite par des matériaux soumis à un éclairage énergétique incident de faible niveau (par exemple  $15\ \text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$  à  $25\ \text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ) et de niveau élevé (par exemple  $40\ \text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$  à  $50\ \text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ). De cette façon, l'incidence des différentes phases de la croissance de l'incendie sur la propension du matériau considéré à dégager de la fumée peut être évaluée.

### 4.2.3 Ventilation et environnement de la combustion

La production de fumée dépend du scénario d'incendie et pas simplement du matériau en train de brûler. Il est démontré que, pour certains matériaux, la production de fumée augmente considérablement lorsqu'on réduit la ventilation.

Il convient que la vitesse de combustion et la zone touchée par la combustion soient toujours prises en compte lors de la détermination de la production de fumée dans les incendies. Un matériau produisant de faibles quantités de fumée par unité de surface en feu peut générer de grandes quantités de fumée dans un incendie, à cause de la propagation rapide des flammes sur de grandes étendues.

## 4.2 Factors affecting smoke production

### 4.2.1 General

Many factors affect the production of smoke and the properties of smoke. A full description of such properties is not possible, but the influence of several important variables is recognized.

### 4.2.2 Modes of decomposition

Smoke is a consequence of combustion. Combustion may be flaming or non-flaming, including smouldering, and these different modes of combustion may produce quite different types of smoke. In non-flaming combustion, volatiles are evolved at elevated temperatures. When they mix with cool air, they condense to form spherical droplets which appear as a light-coloured smoke aerosol. Flaming combustion produces a black carbon-rich smoke in which the particles have a very irregular shape. The smoke particles from flaming combustion are formed in the gas phase and in regions where the oxygen concentrations are low enough to cause incomplete combustion. The carbonaceous smoke particles in the flames emit radiant energy (as black-body emission) which is seen as yellow luminosity.

The particle size of the spherical droplets from non-flaming combustion is generally of the order of 1  $\mu\text{m}$ , whereas the size of the irregular soot particles from flaming combustion is often larger but much harder to determine and is dependent on the measuring technique.

It is often observed for wood fires that the amount of smoke is less with flaming combustion than with non-flaming combustion. For plastics, however, no such generalization can be made: the smoke produced under non-flaming conditions can be less or more than under flaming conditions. For these reasons, it is important to record in a smoke test whether ignition occurs, as well as the times of ignition and extinction of flames on the test specimen. In addition, cold smoke may be generated from the rear of composites; this may differ substantially in colour and composition from the smoke produced from the exposed surface.

The heat flux on the test specimen influences how the material burns; it is good practice to evaluate the smoke generated from materials at low levels of incident irradiance (e.g. 15  $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$  to 25  $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ) as well as at higher levels (e.g. 40  $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$  to 50  $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ). In this way, the effects of the growth phases of a fire on the smoke-generating propensity of a material can be assessed.

### 4.2.3 Ventilation and burning environment

Smoke production depends upon the fire scenario and not just on what material is being burnt. It is known that, for some materials, the production of smoke is increased considerably by restricted ventilation.

The rate of burning and the area involved in burning should always be considered when determining smoke production in fires. A material generating small quantities of smoke per element of burning area may give large quantities of smoke in a fire due to rapid spread of flames over large surface areas.

#### 4.2.4 Temps et température

La répartition des tailles des particules des aérosols de fumée varie avec le temps; les particules de fumée se solidifient en vieillissant. Certaines caractéristiques de la fumée varient également en fonction de la température, de sorte que les propriétés d'une fumée ancienne ou froide peuvent être différentes de celles d'une fumée chaude et jeune. Ces facteurs sont importants pour les techniciens du feu lorsque ceux-ci prennent en compte le déplacement de la fumée dans de grands bâtiments. Ces facteurs d'élimination doivent également être pris en compte lors de la conception des essais de fumée.

#### 4.2.5 Mécanismes d'élimination des particules de fumée

Les grosses particules de fumée peuvent être éliminées par un certain nombre de mécanismes. Dans les méthodes d'essais cumulatives, dans lesquelles une source de chaleur radiante est entourée par les gaz de combustion, une décomposition de postcombustion peut se produire lorsque les particules de fumée recirculent dans la chambre d'essai. D'autres mécanismes d'élimination des grosses particules peuvent inclure le dépôt de ces particules sur les surfaces intérieures de l'enceinte et l'action de ventilateurs. Certains aspects relevant de ces mécanismes se retrouvent également dans les incendies réels lorsque la fumée circule dans un local en feu. Comme ces effets sont possibles dans les essais de fumée cumulatifs, il est admis que les phases initiales de l'exposition (par exemple les 10 premières minutes) sont les plus significatives pour déterminer la vitesse de production de la fumée.

### 5 Principes de mesure de la fumée

La fumée est constituée d'un aérosol de particules. Elle peut être mesurée en fonction de ses propriétés gravimétriques (masse des particules dans la fumée), de ses propriétés d'obscurcissement de la lumière, ou des deux [1]<sup>2</sup>. Cette norme traitant de l'obscurcissement de la visibilité, les méthodes gravimétriques ne sont pas discutées. Les propriétés d'obscurcissement sont fonction du nombre, de la taille et de la nature des particules dans le faisceau lumineux. Si les particules sont opaques, la capacité de la fumée à obscurcir la lumière est liée à la somme des surfaces des sections transversales des particules dans le faisceau lumineux. Elle est mesurée en unités de surface, par exemple en mètres carrés (m<sup>2</sup>).

Les mesures peuvent être faites dans des essais à petite échelle, à grande échelle ou en vraie grandeur. Les méthodes d'essais statiques ou cumulatives sont effectuées dans une enceinte close. Les mesures peuvent également être effectuées à travers un système d'évacuation et ces méthodes sont alors appelées méthodes dynamiques.

#### 5.1 Loi de Bouguer

Les mesures optiques de la fumée sont dérivées de la loi de Bouguer qui décrit l'atténuation de la lumière monochromatique dans un milieu absorbant:

$$I / T = e^{kL} \quad (1)$$

$$k = (1/L) \ln (I / T) \quad (2)$$

( $k$  est l'inverse de la longueur et est exprimé, par exemple, en m<sup>-1</sup>)

où

$T$  est l'intensité du flux lumineux transmis;

$I$  est l'intensité du flux lumineux incident;

$L$  est la longueur du flux lumineux traversant la fumée;

$k$  est le coefficient d'absorption linéaire népérien (ou coefficient d'extinction) (voir Figure 2).

<sup>2</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

#### 4.2.4 Time and temperature

The particle size distribution of smoke aerosols changes with time; smoke particles coagulate as they age. Some properties also change with temperature so that the properties of aged, or cold smoke may be different from young, hot smoke. These factors are important for fire engineers when they are considering potential smoke movement in large buildings. These factors also have to be considered when designing smoke tests.

#### 4.2.5 Removal mechanisms for smoke particles

Large smoke particles may be removed by a number of mechanisms. In cumulative test procedures where a radiant heat source is immersed in the combustion gases, reheated decomposition may occur as the smoke particles recirculate. Other mechanisms for removal of larger particles include the deposition of particles on the internal surfaces of the chamber and the action of fan stirrers. Aspects of these mechanisms also occur in real fires when smoke circulates within a fire compartment. Because these effects are possible in cumulative smoke tests, it is recognized that the early stages of the exposure (for example the first 10 min) are the most relevant for the determination of the rate of smoke generation.

### 5 Principles of smoke measurement

Smoke consists of an aerosol of particles. It can either be measured as a function of its gravimetric properties (the mass of smoke particles), its light-obscuring properties, or a mixture of the two [1]<sup>2</sup>. This standard is concerned with the obscuration of visibility and therefore gravimetric methods are not discussed. Obscuring properties are a function of the number, size and nature of the particles in the light path. If the particles are considered as opaque, the capacity of the smoke to obscure light is related to the sum of the cross-sectional areas of the particles in the light path. It is measured in units of area, e.g. square metres (m<sup>2</sup>).

The measurements may be made in small, large or real-scale tests. They may be performed in closed systems which are called cumulative or static methods. They may also be performed in flow-through systems, and these are called dynamic methods.

#### 5.1 Bouguer's law

Optical smoke measurements are derived from Bouguer's law which describes the attenuation of monochromatic light by an absorbing medium:

$$I / T = e^{kL} \quad (1)$$

$$k = (1/L) \ln (I / T) \quad (2)$$

(The units of  $k$  are reciprocal length, e.g. m<sup>-1</sup>)

where

$T$  is the intensity of transmitted light;

$I$  is the intensity of incident light;

$L$  is the light path length through the smoke;

$k$  is the linear Napierian absorption coefficient (or extinction coefficient) (see Figure 2).

<sup>2</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

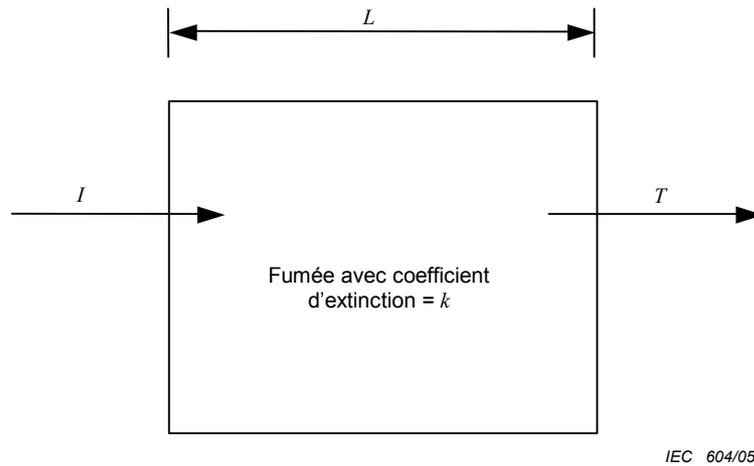


Figure 2 – Atténuation de la lumière par la fumée

### 5.2 Surface d'extinction

La surface effective totale des sections transversales de toutes les particules de fumée est une mesure utile de la quantité de fumée. Cette surface est appelée surface d'extinction,  $S$ . La surface d'extinction peut être représentée par la surface totale des ombres projetées par les particules de fumée dans un faisceau lumineux (voir Figure 3).

La surface d'extinction est liée à la fois au coefficient d'extinction de la fumée et au volume dans lequel la fumée est contenue, et est exprimée par l'équation:

$$S = kV \tag{3}$$

où  $V$  est le volume de la chambre dans laquelle la fumée est contenue.

Cette équation s'applique uniquement si la fumée est homogène.

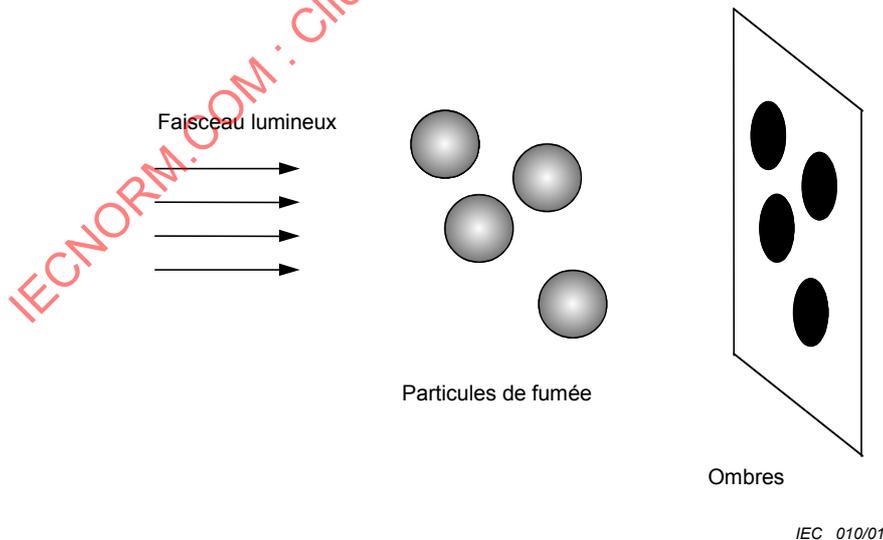


Figure 3 – Surface d'extinction

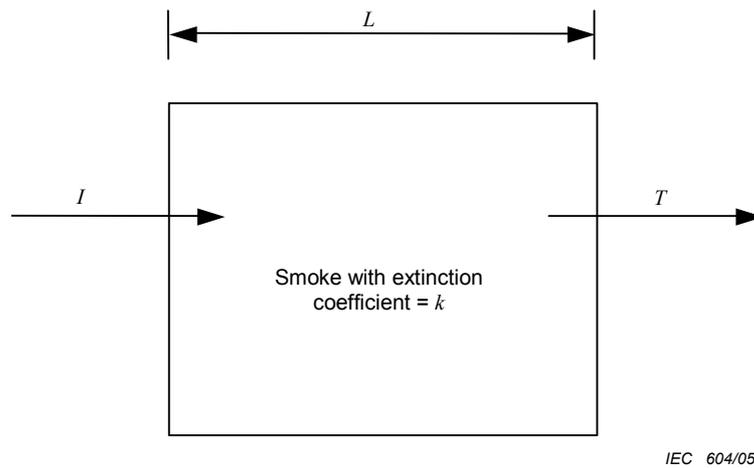


Figure 2 – Attenuation of light by smoke

5.2 Extinction area

A useful measurement of the amount of smoke is the total effective cross-sectional area of all the smoke particles. This area is known as the extinction area of the smoke,  $S$ . The extinction area can be thought of as the total area of the shadows cast by the smoke particles in a beam of light (see Figure 3).

The extinction area is related both to the extinction coefficient of the smoke and to the volume in which the smoke is contained by the equation:

$$S = kV \tag{3}$$

where  $V$  is the volume of the chamber in which the smoke is contained.

This equation only applies if the smoke is homogeneous.

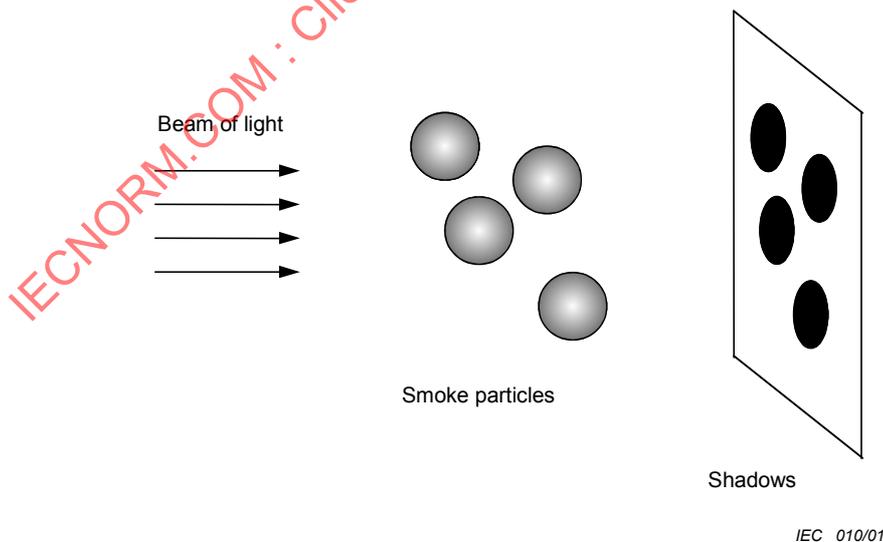


Figure 3 – Extinction area

### 5.3 Unités $\log_{10}$

Dans certaines études, les logarithmes en base 10 sont utilisés pour calculer la densité optique par unité de longueur du faisceau lumineux, ( $D$ ), qui est correctement appelée coefficient d'absorption linéaire décimal et est exprimée, comme  $k$  (coefficient népérien d'absorption linéaire), par l'inverse de la longueur (par exemple en  $m^{-1}$ ).

$$I/T = 10^{DL} \quad (4)$$

$$D = (1/L) \log_{10}(I/T) \quad (5)$$

$$k = D \ln 10 \text{ ou } k = 2,303 D \quad (6)$$

La surface d'extinction de la fumée, ( $S$ ), peut aussi être calculée à partir de  $D$  en utilisant l'équation:

$$S = 2,303 DV \quad (7)$$

Dans la documentation technique, on peut trouver plusieurs variantes basées sur le logarithme en base 10. Une grandeur communément utilisée est la densité optique sans dimension  $D' = \log_{10}(I/T)$ . Pour une quantité donnée de fumée,  $D'$  est proportionnelle à la longueur du faisceau lumineux et dépend donc de l'appareillage d'essai; les résultats obtenus avec un appareillage ne peuvent pas être comparés directement à ceux obtenus avec d'autres appareillages.

### 5.4 Sources lumineuses

La lumière blanche ainsi que le rayon laser monochromatique sont utilisés comme sources de lumière pour les mesures de la fumée.

Puisque l'atténuation de la lumière à travers la fumée dépend de l'absorption et de la dispersion de la lumière et puisque cette dernière dépend de la longueur d'onde, il est recommandé de prendre des précautions lorsqu'on compare des résultats obtenus à partir de systèmes de mesure utilisant différentes sources de lumière.

### 5.5 Surface d'extinction spécifique

Dans les essais où la perte de masse de l'éprouvette d'essai est mesurée, la surface d'extinction spécifique,  $\sigma_f$ , peut être calculée:

$$\sigma_f = S / \Delta m \quad (8)$$

où  $\Delta m$  est la perte de masse de l'éprouvette d'essai.

$\sigma_f$  est le rapport entre la surface et la masse; il est exprimé, par exemple, en  $m^2 \cdot kg^{-1}$ .

La surface d'extinction spécifique,  $\sigma_f$ , est une mesure fondamentale de la fumée qui peut être effectuée à toutes les échelles des essais. Elle est indépendante

- de la longueur du faisceau lumineux utilisé pour la mesure;
- du débit des gaz;
- de la surface du produit exposé; et
- de la masse de l'éprouvette d'essai.

La surface d'extinction spécifique,  $\sigma_f$ , est utilisée pour définir la quantité de fumée produite par unité de perte de masse de l'éprouvette d'essai.

### 5.3 Log<sub>10</sub> units

In some studies, base 10 logarithms are used to calculate the optical density per unit light path length, ( $D$ ), which is properly named linear decadic absorption coefficient and, like  $k$  (linear Napierian absorption coefficient), also has units of reciprocal length (e.g. m<sup>-1</sup>).

$$I/T = 10^{DL} \quad (4)$$

$$D = (1/L) \log_{10}(I/T) \quad (5)$$

$$k = D \ln 10 \text{ or } k = 2,303 D \quad (6)$$

The extinction area of smoke ( $S$ ) can also be calculated from  $D$  using the equation:

$$S = 2,303 DV \quad (7)$$

Several variants of base 10 units can be found in the literature. A commonly used quantity is the dimensionless optical density  $D' = \log_{10}(I/T)$ . For a given amount of smoke,  $D'$  is proportional to the light path length and is thus apparatus-dependent; results from one apparatus cannot be directly compared to results from other apparatus.

### 5.4 Light sources

Both white light and monochromatic laser light sources are used for smoke measurement.

Since light attenuation through smoke is dependent on the absorption and scattering of light, and since the latter is dependent on wavelength, caution should be exercised when comparing data obtained from measuring systems using different light sources.

### 5.5 Specific extinction area

In tests where the mass loss of the test specimen is measured, the specific extinction area,  $\sigma_f$ , can be calculated:

$$\sigma_f = S / \Delta m \quad (8)$$

where  $\Delta m$  is the mass loss of the test specimen.

The units of  $\sigma_f$  are area/mass, e.g. m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>.

The specific extinction area,  $\sigma_f$ , is a basic measurement of smoke that can be made in all scales of tests. It is independent of

- the light path length over which the measurement is taken;
- the flow rate of gases;
- the surface area of the exposed product; and
- the mass of the test specimen.

The specific extinction area,  $\sigma_f$ , is used to define the smoke-producing capacity of a unit mass loss of the test specimen.

Considérons par exemple, une éprouvette d'essai de 80 g essayée dans des conditions sans flammes. Elle perd une masse de 50 g, ce qui laisse un résidu de 30 g. La fumée produite à partir des 50 g de produits volatils pyrolysés a une surface d'extinction de 4 m<sup>2</sup>. La valeur de la surface d'extinction spécifique,  $\sigma_f$ , sera par conséquent de 0,08 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>. Supposons que la même éprouvette soit essayée en présence de flammes et qu'elle perde une masse de 60 g laissant un résidu de 20 g. La fumée provenant de la combustion des 60 g de produits volatils aura une surface d'extinction de 30 m<sup>2</sup>. La valeur de  $\sigma_f$  sera alors de 0,5 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>.

Il est important de réaliser que  $\sigma_f$  ne donne d'information ni sur la quantité de fumée produite lors d'un incendie ni sur la vitesse de production de la fumée. Pour obtenir cette information, il faut que, soit la perte de masse de l'éprouvette d'essai ( $\Delta m$ ), soit la vitesse de perte de masse de l'éprouvette d'essai ( $\dot{m}$ ) soient également connues. La surface d'extinction de la fumée produite est alors donnée par:

$$S = \sigma_f \Delta m \quad (9)$$

Dans un système dynamique (voir 6.2), la surface d'extinction spécifique peut être obtenue à partir de:

$$\sigma_f = k \dot{V} / \dot{m} \quad (10)$$

où

$\dot{V}$  est la vitesse du flux volumique;

$\dot{m}$  est la vitesse de perte de masse;

et la vitesse de production de fumée ( $\dot{s}$ ) est donnée par:

$$\dot{S} = \sigma_f \dot{m} \quad (11)$$

## 5.6 Densité optique massique

Lorsqu'on travaille en log<sub>10</sub>, la variable équivalente à  $\sigma_f$  est appelée densité optique massique, ( $D_{\text{mass}}$ ), et est reliée à  $\sigma_f$  comme suit:

$$D_{\text{mass}} = \sigma_f / \ln 10 = \sigma_f / 2,303 \quad (12)$$

$D_{\text{mass}}$  est le rapport entre la surface et la masse et est exprimé, par exemple, en m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>.

Dans un système statique (voir 6.1):

$$D_{\text{mass}} = D'V / \Delta m L \quad (13)$$

où

$D_{\text{mass}}$  est la densité optique massique;

$D'$  est la densité optique;

$V$  est le volume de la chambre;

$\Delta m$  est la perte de masse de l'éprouvette d'essai;

$L$  est la longueur du faisceau lumineux.

Dans un système dynamique, la densité optique massique peut être obtenue à partir de:

$$D_{\text{mass}} = D' \dot{V} / \dot{m} \quad (14)$$

For example, consider an 80 g test specimen that is tested under non-flaming conditions. It loses 50 g of mass leaving a residue of 30 g. The smoke produced from the 50 g of volatile pyrolysis products has an extinction area of 4 m<sup>2</sup>. The  $\sigma_f$  value will therefore be 0,08 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>. Suppose that the same test specimen is tested under flaming conditions and that it loses 60 g of mass leaving 20 g of residue. The smoke produced from the combustion of the 60 g of volatile degradation products has an extinction area of 30 m<sup>2</sup>. The  $\sigma_f$  value in this case will be 0,5 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>.

It is important to realise that  $\sigma_f$  does not give information on either the amount of smoke generated in a fire or the rate of smoke generation in a fire. To obtain this information, either the mass loss of the test specimen ( $\Delta m$ ) or the mass loss rate of the test specimen ( $\dot{m}$ ) must also be known. Then, the extinction area of the smoke generated is given by:

$$S = \sigma_f \Delta m \quad (9)$$

In dynamic systems (see 6.2), the specific extinction area may be obtained from:

$$\sigma_f = k \dot{V} / \dot{m} \quad (10)$$

where

$\dot{V}$  is the volume flow rate;

$\dot{m}$  is the mass loss rate;

and the smoke production rate ( $\dot{S}$ ) is given by:

$$\dot{S} = \sigma_f \dot{m} \quad (11)$$

## 5.6 Mass optical density

When working in log<sub>10</sub> units the equivalent variable to  $\sigma_f$  is called mass optical density ( $D_{mass}$ ) and is related to  $\sigma_f$  as follows:

$$D_{mass} = \sigma_f / \ln 10 = \sigma_f / 2,303 \quad (12)$$

The units of  $D_{mass}$  are area/mass, e.g. m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>.

In static systems (see 6.1):

$$D_{mass} = D' V / \Delta m L \quad (13)$$

where

$D_{mass}$  is the mass optical density;

$D'$  is the optical density;

$V$  is the volume of the chamber;

$\Delta m$  is the mass loss of the test specimen;

$L$  is the light path length.

In dynamic systems, the mass optical density can be obtained from:

$$D_{mass} = D \dot{V} / \dot{m} \quad (14)$$

## 5.7 Visibilité

Si la constante de proportionnalité ( $\gamma$ ) entre la visibilité ( $\omega$ ) et  $k$  (ou  $D$ ) est connue, alors la visibilité peut être calculée aisément si la quantité de fumée (surface d'extinction) est connue et si le volume occupé par la fumée est également connu.

$$\omega = \gamma(V/S) \quad (15)$$

$$\text{et } \gamma = \omega k = 2,303 \omega D \quad (16)$$

Le calcul de la visibilité est décrit en détail à l'Annexe A et des exemples de relation entre les paramètres relatifs à la fumée mesurés avec différentes méthodes d'essais, utilisant différentes unités de mesure, sont donnés dans les Annexes B et C.

## 6 Méthodes statiques et dynamiques

### 6.1 Méthodes statiques

Dans un essai de fumée statique, l'éprouvette d'essai brûle dans une enceinte fermée et la fumée produite s'accumule dans le temps. Dans certains essais, un ventilateur agite la fumée pour empêcher la formation de nappes et rendre la fumée homogène.

La quantité de fumée est mesurée en enregistrant l'atténuation d'un faisceau lumineux qui traverse la fumée. La surface d'extinction de la fumée est une mesure utile de la quantité de fumée produite et est fonction de l'opacité de la fumée, du volume de l'enceinte et de la longueur du faisceau lumineux.

$$S = (V/L) \ln(I/T) \quad (17)$$

Cette équation s'applique uniquement si la fumée est homogène.

Dans certains essais, y compris l'essai de la CEI 60695-6-30 et celui de l'ISO 5659-2, la quantité de fumée est calculée à partir de la densité optique de la fumée, et elle est étendue à la surface de l'éprouvette d'essai,  $A$ . La grandeur calculée est  $D_s$ , densité optique spécifique.

$$D_s = [V/(AL)] \log_{10}(I/T) \quad (18)$$

L'épaisseur de l'éprouvette d'essai affecte la quantité de fumée produite. Il est recommandé de ne pas comparer directement les valeurs de  $D_s$  pour des éprouvettes d'essai de différentes épaisseurs. Inversement, si des comparaisons sont faites, les épaisseurs des éprouvettes d'essai doivent être constantes.

Le but de la mesure de  $D_s$  (ou  $S$ ) est de permettre de prévoir la visibilité. Cependant, la visibilité à l'intérieur de l'enceinte d'essai n'est pas ce que l'on souhaite connaître habituellement. Ce qui est demandé, c'est une estimation de la visibilité dans un scénario donné. Il est possible de faire de telles estimations en se basant sur les résultats obtenus avec des essais statiques, comme l'essai de la CEI 60695-6-30 mais il faut savoir que de tels calculs sont seulement des estimations, étant donné que le fait de changer le modèle feu changera probablement à la fois le processus de production de fumée et la façon dont la fumée vieillit.

### 6.2 Méthodes dynamiques

Dans les essais dynamiques, la fumée provenant de l'éprouvette d'essai est aspirée à travers un système d'évacuation à un débit mesuré et l'opacité de la fumée est mesurée à intervalles réguliers en enregistrant l'intensité transmise d'un faisceau de lumière traversant la fumée (voir Figure 4).

## 5.7 Visibility

If the constant of proportionality ( $\gamma$ ) between visibility ( $\omega$ ) and  $k$  (or  $D$ ) is known, then visibility can be readily calculated if the amount of smoke (extinction area) is known and if the volume occupied by the smoke is also known.

$$\omega = \gamma(V/S) \quad (15)$$

$$\text{and } \gamma = \omega k = 2,303 \omega D \quad (16)$$

The calculation of visibility is described in more detail in Annex A, and examples of the relationships between smoke parameters measured in various tests, using various measurement units, are given in Annexes B and C.

## 6 Static and dynamic methods

### 6.1 Static methods

In a static smoke test, the test specimen burns in a closed chamber and the smoke produced builds up over time. In some tests, a fan stirs the smoke to prevent layering and to make it homogeneous.

The amount of smoke is measured by monitoring the attenuation of a light beam shining through the smoke. The extinction area of the smoke is a useful measure of the amount of smoke produced, and is a function of the opacity of the smoke, the volume of the chamber and the light path length.

$$S = (V/L) \ln(I/T) \quad (17)$$

This equation only applies if the smoke is homogeneous.

In some tests, including that of IEC 60695-6-30 and ISO 5659-2, the amount of smoke is calculated from the optical density of the smoke, and it is normalised to the surface area of the test specimen,  $A$ . The quantity calculated is  $D_s$ , the specific optical density.

$$D_s = [V/(AL)] \log_{10}(I/T) \quad (18)$$

The thickness of the test specimen will affect the amount of smoke produced.  $D_s$  values should not be directly compared for test specimens of different thicknesses. Conversely, if comparisons are made, then the test specimen thickness shall be kept constant.

The purpose of measuring  $D_s$  (or  $S$ ) is to enable the prediction of visibility. However, the visibility within the test chamber is not usually what is required to be known. What is required is an estimation of visibility in a given scenario. It is possible to make such estimations based on data obtained in static tests such as IEC 60695-6-30 but it must be appreciated that such calculations are only estimates, as changing the fire model will probably change both the smoke production process and the way in which the smoke will age.

### 6.2 Dynamic methods

In dynamic tests, the smoke from the test specimen is drawn through an exhaust system at a measured flow rate and the opacity of the smoke stream is measured at regular intervals by monitoring the transmitted intensity of a light beam shining through the smoke (see Figure 4).

La vitesse de production de fumée à un instant donné,  $(\dot{S})$ , est calculée en utilisant l'équation:

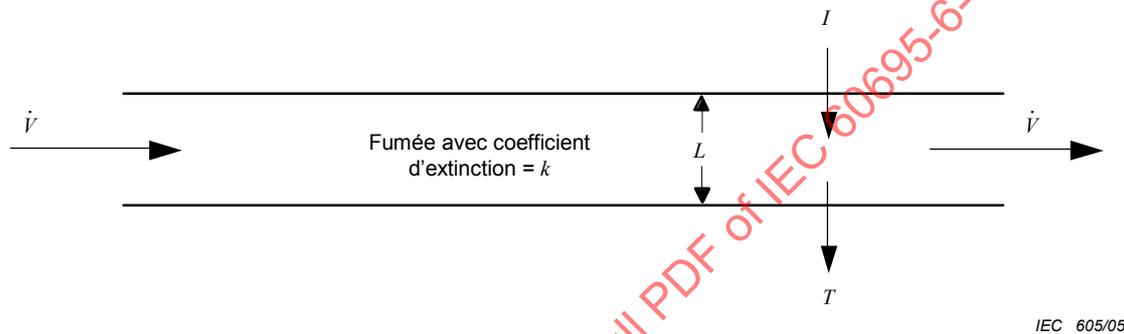
$$\dot{S} = k\dot{V} \tag{19}$$

où

$\dot{V}$  est le volume du flux gazeux extrait;

$\dot{S}$  est le rapport de la surface sur le temps, exprimé, par exemple, en  $m^2 \cdot s^{-1}$ .

La vitesse de production de fumée est aisément déterminée dans un système dynamique. Elle exprime la surface d'extinction de la fumée produite par unité de temps. Lorsque la surface exposée de l'éprouvette d'essai utilisée est connue, comme dans l'ASTM E 1354 [2], avec le cône calorimètre ou les calorimètres pour le matériel, la vitesse de production de fumée peut être étendue à l'unité de surface de l'éprouvette d'essai exposée. L'unité devient alors une inverse du temps, par exemple  $(m^2/s)/m^2$ , c'est-à-dire  $s^{-1}$ .



**Figure 4 – Mesure dynamique de la fumée**

$$\dot{S} = k\dot{V} = (1/L) \ln(I/T)\dot{V} \tag{20}$$

Les données intégrées relatives à la production totale de fumée sont aussi intéressantes, spécialement lorsqu'on compare des matériaux ou des scénarios qui peuvent générer de la fumée pendant des périodes de temps inégales. La production totale de fumée mesurée représente la surface d'extinction produite dans un intervalle de temps défini et est donnée par:

$$S = \int \dot{S} dt \tag{21}$$

où

$S$  est la fumée totale générée, c'est-à-dire la surface totale d'extinction;

$t$  est le temps.

Il convient que l'intervalle de temps qui est pris pour le calcul récapitulatif soit spécifié. Dans le cône calorimètre, cet intervalle va jusqu'à la fin de l'essai, ce qui dans les cas simples est le moment où la vitesse de perte de masse par unité de surface de l'éprouvette d'essai a atteint une valeur spécifiée (par exemple  $25 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). La fumée totale générée peut être exprimée par unité de surface en train de brûler si celle-ci est connue.

La fumée totale générée par une éprouvette d'essai en combustion et mesurée dans un système clos sera souvent substantiellement inférieure à celle générée par une combustion similaire et mesurée dans un système dynamique. La raison en est que les mesures dans des systèmes statiques sont plus influencées par les pertes dues au vieillissement et aux dépôts ou interactions sur les parois de l'enceinte.

The smoke production rate at any given moment ( $\dot{S}$ ) is calculated using the equation:

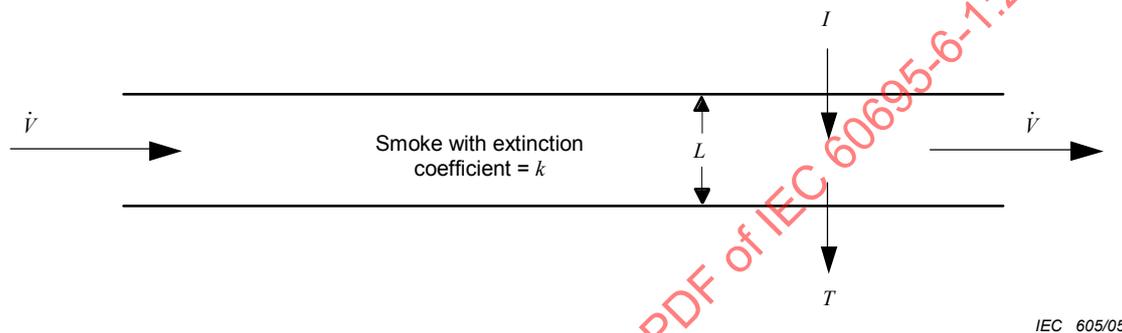
$$\dot{S} = k\dot{V} \quad (19)$$

where

$\dot{V}$  is the volume flow rate of the exhaust gases;

$\dot{S}$  has units of area/time, e.g.  $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ .

The smoke production rate is readily ascertained in dynamic systems. It expresses the extinction area of smoke produced per unit time. When the exposed test specimen area involved is known, as in ASTM E 1354 [2], the cone calorimeter, or furniture calorimeters, the smoke production rate can be normalized per unit of the exposed test specimen area. The units then become reciprocal time, e.g.  $(\text{m}^2/\text{s})/\text{m}^2$ , i.e.  $\text{s}^{-1}$ .



**Figure 4 – Dynamic smoke measurement**

$$\dot{S} = k\dot{V} = (1/L) \ln(I/T)\dot{V} \quad (20)$$

Integrated data on total smoke production is also of interest, especially when comparing materials or scenarios which may produce smoke for unequal periods of time. Total smoke production is measured as the extinction area produced in the defined time interval and is given by:

$$S = \int \dot{S} dt \quad (21)$$

where

$S$  is the total smoke production, i.e. the total extinction area;

$t$  is the time.

The time over which the summation is performed should be specified. In the cone calorimeter, this is to the end of the test, which, in simple cases, is when the mass loss rate per unit area of the test specimen has reached a specified value (for example  $25 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). The total smoke production may be expressed per unit of burning area if this is known.

The total smoke production from a burning test specimen, measured in a closed system, will often be substantially less than the total smoke production from a similar burning test measured in a dynamic system. This is because measurements in static systems are more influenced by losses due to ageing and deposition or interaction at the chamber walls.

## 7 Méthodes d'essais

### 7.1 Considérations sur les méthodes d'essais

Il est important de considérer le ou les modèles feu qui correspondent le mieux aux risques à évaluer et de sélectionner des essais qui ont un modèle feu similaire à ceux que l'on évalue (voir la CEI 60695-6-2).

Lors de la sélection des méthodes d'essais, il est recommandé de poser les questions suivantes pour chaque méthode considérée:

- l'essai est-il adapté à la géométrie et à la configuration du type de produit?
- la méthode d'essai reproduit-elle la phase de feu considérée?
- l'essai donne-t-il des résultats dans un format approprié, et avec une discrimination et une résolution suffisantes?

Si la réponse à l'une de ces questions est non, la méthode considérée nécessite des modifications ou une autre méthode doit être envisagée.

Le logigramme donné à la Figure 5 indique les étapes à suivre pour évaluer si une méthode existante convient à une nouvelle application.

### 7.2 Sélection de l'éprouvette d'essai

Différents types d'éprouvettes d'essai peuvent être essayés. Pour l'essai sur produit, l'éprouvette d'essai est un produit manufacturé. Pour l'essai sur produit simulé, l'éprouvette d'essai est représentative d'une partie du produit. L'éprouvette d'essai peut être aussi un matériau de base (solide ou liquide) ou un assemblage de matériaux.

La nature de l'éprouvette d'essai est régie dans une grande mesure par la taille de l'essai de fumée. Les essais à petite échelle sont plus adaptés pour essayer des matériaux et des petits produits, ou des éprouvettes d'essai représentatives de produits plus grands. Avec un essai à grande échelle, des produits entiers peuvent être essayés. Si le choix est possible, il est toujours préférable de sélectionner une éprouvette d'essai qui reflète le plus l'utilisation finale.

## 8 Présentation des résultats

Actuellement, il y a plusieurs façons de présenter les données concernant la fumée. Cela rend difficile et quelquefois impossible de faire une comparaison entre les données obtenues avec différents essais. Il est aussi difficile d'établir un rapport entre les résultats des essais et la mesure du danger de feu présenté par le matériau ou par le produit testé. Pour aider à surmonter ces problèmes, il est recommandé, quand cela est possible, d'exprimer les données en termes de surface d'extinction. Tous les autres paramètres pertinents doivent être consignés. Ils doivent inclure tous les détails sur la nature de l'éprouvette d'essai, les conditions d'essais et toutes observations en cas de comportement anormal.

Les données concernant la fumée sont souvent présentées sous forme normalisée, par exemple production de fumée par unité de masse et production de fumée par unité de surface. Dans ce cas, il est important de donner également les données primaires (c'est-à-dire, avant normalisation).

## 7 Test methods

### 7.1 Consideration of test methods

It is important to consider the fire model or models most relevant to the hazard being assessed, and to select tests which have fire models similar to those being assessed (see IEC 60695-6-2).

In the selection of test methods, the following questions should be asked of each method under consideration:

- can the test accommodate the geometry and configuration of the product in question?
- does the test method replicate the stage of fire of interest?
- does the test give data in an appropriate format, and with sufficient discrimination and resolution?

If the answer to any of these questions is no, the method under consideration will need modification, or an alternative method shall be considered.

A flow chart outlining the stages to be followed in assessing the suitability of an existing method for a new application is shown in Figure 5.

### 7.2 Selection of test specimen

Different types of test specimens may be tested. In product testing, the test specimen is a manufactured product. In simulated product testing, the test specimen is representative of a portion of a product. The test specimen may also be a basic material (solid or liquid) or a composite of materials.

The nature of the test specimen is governed to a large extent by the scale of the smoke test. Small-scale tests are suited more to the testing of materials and small products, or of representative test specimens of larger products. On a larger scale, whole products may be tested. Given the choice, it is always preferable to select a test specimen that most closely reflects end use.

## 8 Presentation of data

At present there are many different ways of presenting smoke data. This makes it difficult, and sometimes impossible, to make comparisons between smoke data from different tests. It also makes it difficult to relate the results of tests to a measure of the fire hazard presented by the material or by the product being tested. To help overcome these problems, it is recommended that, wherever possible, smoke data should be reported in terms of extinction area. All other relevant parameters shall be reported. These include full details of the nature of the test specimen, the conditions of the test and any observations of unusual behaviour.

Normalized smoke data are often reported, e.g. smoke production per unit mass and smoke production per unit surface area. When this is the case, it is important that the primary data (i.e. before being normalized) should also be reported.

## 9 Relation entre les données et l'évaluation du risque

Des évaluations réalistes de la performance au feu d'un produit peuvent seulement être obtenues en essayant une éprouvette d'essai en vraie grandeur dans la forme et l'orientation dans lesquelles elle est réellement utilisée. Un essai isolé à petite échelle, non représentatif de l'utilisation finale du produit, peut seulement donner une indication de la réaction du produit au modèle feu sélectionné. Il faut souligner qu'il n'y a pas d'essai de feu ou de fumée qui permette, dans des conditions normales, de mesurer le risque dû au feu ou à la fumée; de plus, on ne peut prétendre que des résultats satisfaisants d'un seul essai normalisé de feu ou de fumée assureront un niveau donné de sécurité. Des résultats provenant de plusieurs essais de feu fourniront des informations qui aideront à déterminer les risques dus au feu et à la fumée et par la suite à les contrôler.

Le risque potentiel dû à l'obscurcissement de la lumière causé par la production de fumée provenant d'un matériau en cours de combustion dépend d'un certain nombre de facteurs tels que:

- la fumée totale produite;
- la surface spécifique d'extinction de la fumée, c'est-à-dire la quantité de fumée produite par unité de perte de masse du matériau en cours de combustion;
- la vitesse de perte de masse du matériau en cours de combustion (qui dépend de la quantité de matériau impliqué dans le feu, et de la facilité avec laquelle il brûle);
- la vitesse de production de la fumée (qui est le produit des deux quantités citées ci-dessus);
- le volume dans lequel la fumée se répand.

Beaucoup d'autres facteurs sont associés à la visibilité dans les voies de secours, par exemple:

- taille, luminosité, contraste et intensité des émetteurs lumineux;
- taille et contraste des éléments réfléchissants;
- présence d'illumination externe;

ainsi que des facteurs de réaction humaine, tels que:

- acuité visuelle;
- adaptation à l'obscurité;
- irritation.

Par conséquent, il n'est pas suffisant de considérer uniquement le potentiel de dégagement de fumée d'une unité de masse ou de surface d'un matériau pour être capable d'évaluer le risque. Un matériau ayant une valeur de surface spécifique d'extinction élevée ou un  $D_s$  élevé peut ne pas présenter de risque si la quantité de matériau présente dans le scénario du risque est petite et/ou si le volume dans lequel la fumée peut se répandre est grand. De même, un matériau ayant une valeur de surface spécifique d'extinction faible ou un  $D_s$  faible peut présenter un risque si la quantité de matériau présente dans le scénario du risque est importante et/ou si le volume dans lequel la fumée peut se répandre est petit.

## 9 Relevance of data to hazard assessment

Realistic assessments of the fire performance of a product can only be obtained by testing a real-scale test specimen in the form and orientation in which it is actually used. An isolated small-scale test, not representative of the final use of the product, can only indicate the response of a product to the fire model selected. It is emphasized that no fire or smoke test can, in normal circumstances, measure fire or smoke hazard; in addition, it cannot be assumed that satisfactory results of a single standard fire or smoke test will guarantee a given level of safety. Results from a variety of fire tests will provide information to assist in the determination and subsequent control of fire and smoke hazards.

The potential hazard due to the obscuration of light caused by smoke production from burning material depends on a number of factors. These include:

- the total smoke produced;
- the specific extinction area of the smoke, i.e. the amount of smoke produced per unit mass loss of the burning material;
- the mass loss rate of the burning material (this will depend on how much material is involved in the fire, and on how easily it burns);
- the rate of smoke production (this is the product of the above two quantities);
- the volume into which the smoke is spreading.

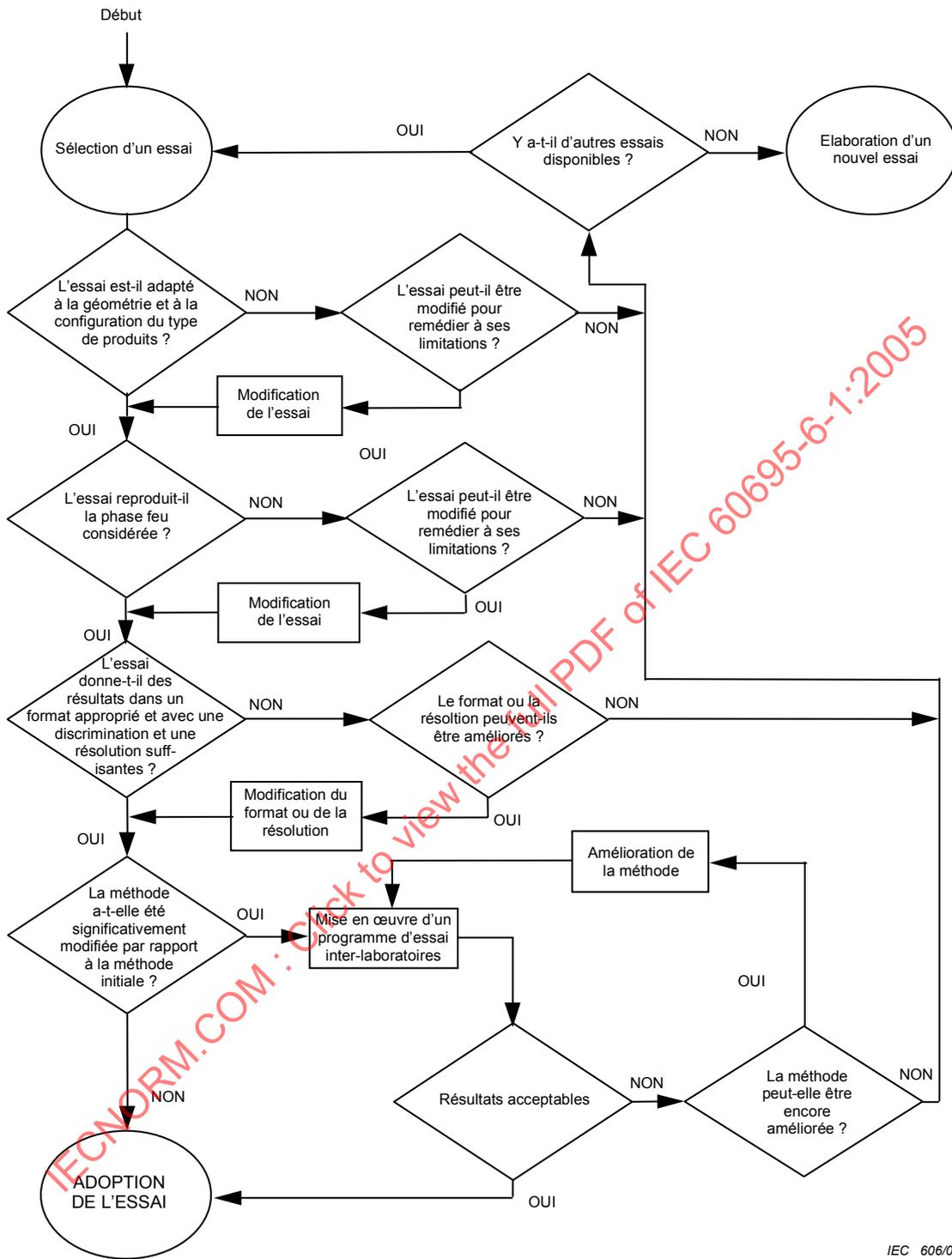
There are many other factors associated with visibility in an escape route, including:

- size, luminance, contrast and intensity of a light-emitting sign;
- size and contrast of reflecting objects;
- presence of external illumination;

and human response factors, including

- visual acuity;
- dark adaptation;
- irritancy.

It follows, therefore, that just considering the smoke producing potential of a unit mass or unit area of a material is not sufficient to enable a hazard assessment to be made. A material with a high specific extinction area or a high  $D_s$  value may not present a hazard if the amount of material present in the hazard scenario is small, and/or if the volume into which the smoke can spread is large. Similarly, a material with a low specific extinction area or a low  $D_s$  value may present a hazard if the amount of material present in the hazard scenario is large, and/or if the volume into which the smoke can spread is small.



IEC 606/05

Figure 5 – Evaluation et considération des méthodes d’essais de fumée

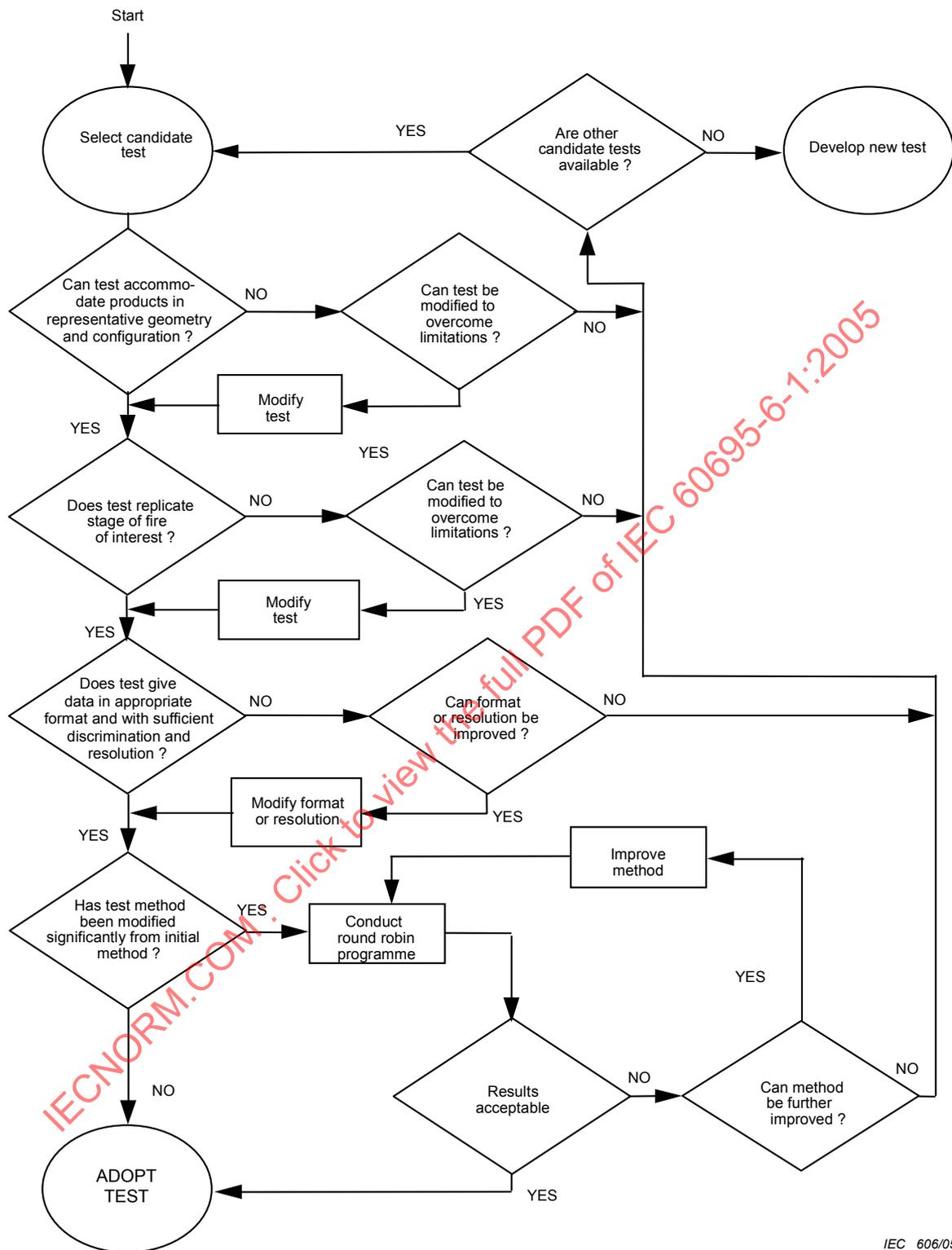


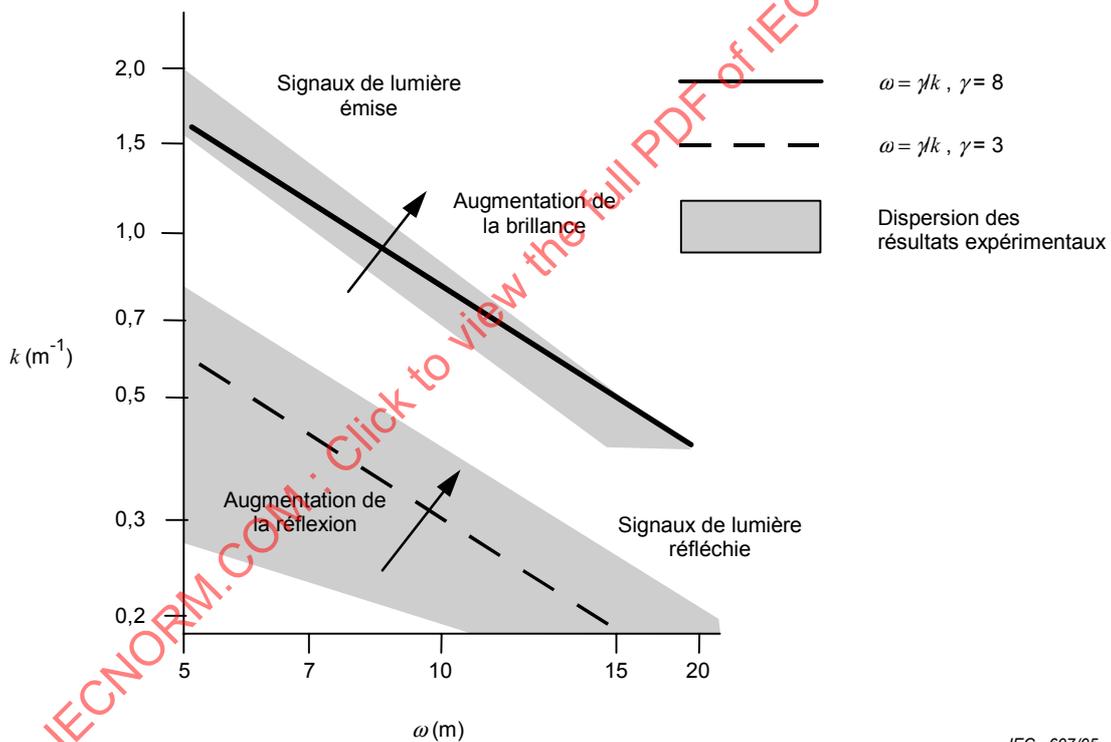
Figure 5 – Evaluation and consideration of smoke test methods

## Annexe A (informative)

### Calcul de la visibilité

La Figure A.1 montre les relations, signalées par Jin [3], entre la visibilité et le coefficient d'extinction de la fumée qui cause l'obscurcissement. Une des deux lignes de la figure montre la lumière émise et l'autre la lumière réfléchie. La visibilité est approximativement inversement proportionnelle au coefficient d'extinction, c'est-à-dire  $\omega = \gamma/k$ ,  $\gamma$  étant une constante de proportionnalité. Cependant, il y a une grande dispersion dans les résultats expérimentaux et la visibilité dépend aussi d'autres facteurs tels que l'éclairage externe, la brillance des signaux de lumière émise et la réflectance des signaux de lumière réfléchie. Il convient donc de considérer les calculs de visibilité utilisant cette relation uniquement comme une estimation.

Jin a sélectionné des valeurs de  $\gamma$  égales respectivement à 3 et à 8 pour les signaux de lumière réfléchie et de lumière émise. Dans la BS DD240, Partie 1 [4], les valeurs retenues sont 2,30 et 5,76.



**Figure A.1 – Visibilité ( $\omega$ ) en fonction du coefficient d'extinction ( $k$ )**

Un exemple d'estimation type de la visibilité est donné ci-dessous.

Supposons qu'une éprouvette d'essai de 10 mm d'épaisseur est essayée dans l'appareillage de la CEI 60695-6-30. La valeur maximale  $D_s$  obtenue est  $D_{max}$ . Supposons que nous voulons faire une estimation du minimum de visibilité du signal de lumière émise dans une pièce de volume  $V$  avec une éprouvette de 10 mm d'épaisseur, de surface  $A$ , brûlant de façon similaire dans la pièce.

## Annex A (informative)

### Calculation of visibility

Figure A.1 shows the relationships reported by Jin [3] between visibility and the extinction coefficient of the smoke which is causing obscuration. Two lines are shown in the figure; one is for light-emitting signs and the other is for light-reflecting signs. Visibility is approximately inversely proportional to the extinction coefficient, i.e.  $\omega = \gamma/k$ ,  $\gamma$  being the constant of proportionality. However, there is a considerable spread in the experimental data, and visibility also depends on other factors such as external illumination, the brightness of light-emitting signs, and the reflectance of light-reflecting signs. Calculations of visibility using this relationship should therefore only be considered as estimates.

Jin selected values for  $\gamma$  of 3 and 8 for light-reflecting and light-emitting signs, respectively. In BS DD240, Part 1 [4], values of 2,30 and 5,76 have been selected.

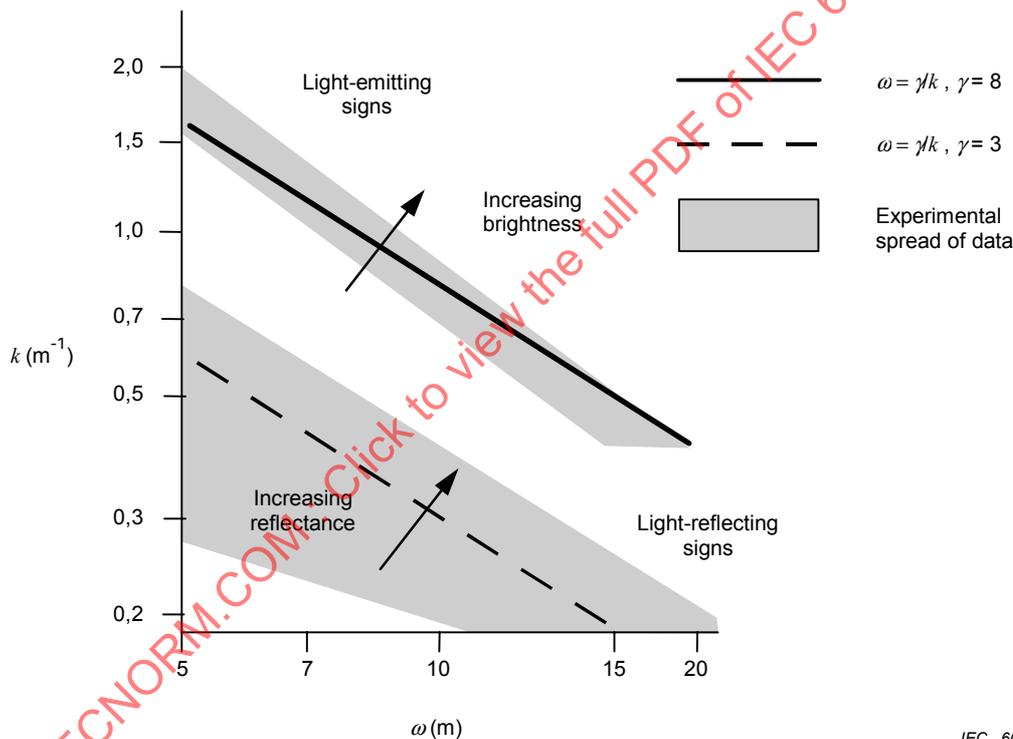


Figure A.1 – Visibility ( $\omega$ ) versus extinction coefficient ( $k$ )

An example of a typical estimation of visibility is as follows.

Suppose a 10 mm thick test specimen of material is tested in an IEC 60695-6-30 apparatus. The maximum  $D_s$  value obtained is  $D_{\max}$ . Suppose we wish to calculate an estimate of the minimum visibility of a light emitting sign in a room of volume  $V$  if a 10 mm thick test specimen of the material, with a surface area of  $A$ , burns in a similar manner in the room.

Nous savons que:  $\omega = \gamma(V/S)$  (A.1)

et pour les besoins de l'estimation, nous supposons que  $\gamma = 8$  pour le signal de lumière émise.

Nous avons besoin de calculer, en premier, la quantité de fumée dégagée dans le scénario considéré. Ce résultat est obtenu par la formule:

$$S = 2,303 D_{\max} A \quad (\text{A.2})$$

ainsi, l'estimation de la visibilité est donnée par:

$$\omega = 8[V/(2,303 D_{\max} A)] \quad (\text{A.3})$$

Il convient de noter qu'un tel calcul suppose que la fumée est homogène alors que dans beaucoup de feux réels, la fumée tend à se former dans des couches chaudes qui flottent. On suppose également que la production de fumée varie linéairement avec la surface de l'éprouvette d'essai brûlée. En outre, l'effet des substances irritantes n'est pas pris en compte. Quelques recherches suggèrent que les effets de ces substances sur l'œil peuvent réduire la vision de 50 % à 95 %.

Notons également que la relation simple  $\omega = \gamma/k$  indiquée par Jin est seulement valable pour une gamme relativement petite de distances de visibilité. Elle se réfère à la visibilité alors que la reconnaissance de signaux nécessite la résolution des détails des signaux. Une équation plus complexe a été proposée pour les distances de reconnaissance dans la fumée [5], qui permet une extrapolation pour des conditions où l'air n'est pas obscurci.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-1:2005

We know that:  $\omega = \gamma(V/S)$  (A.1)

and, for the purpose of the estimation, we assume that  $\gamma = 8$  for a light-emitting sign.

We first need to calculate how much smoke will be produced in the postulated scenario. This is given by:

$$S = 2,303 D_{\max} A \quad (\text{A.2})$$

so the estimated visibility is given by:

$$\omega = 8[V/(2,303 D_{\max} A)] \quad (\text{A.3})$$

It should be noted that such a calculation assumes that the smoke is homogeneous whereas in many real fires, the smoke tends to form in a buoyant hot layer. It is also assumed that smoke production varies linearly with the area of the test specimen burned. Also, no consideration of the effect of irritants is made. Some limited research suggests that eye irritants might reduce vision by 50 % up to 95 %.

Note also that the simple relationship  $\omega = \gamma/k$  reported by Jin is only valid over a relatively small range of viewing distances. It also refers to the visibility of targets whereas the recognition of signs requires the resolution of the sign details. A more complex equation has been proposed for recognition distances in smoke [5] which will properly extrapolate to clear air conditions.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-1:2005