

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Fire hazard testing –
Part 6-1: Smoke obscuration – General guidance**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60695-6-1

Edition 2.1 2010-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Fire hazard testing –
Part 6-1: Smoke obscuration – General guidance**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

CJ

ICS 13.220.99; 29.020

ISBN 978-2-88912-122-9

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms, definitions and symbols.....	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Symbols.....	16
4 General aspects of smoke test methods.....	17
4.1 Fire scenarios and fire models.....	17
4.2 Factors affecting smoke production.....	21
5 Principles of smoke measurement.....	22
5.1 Bouguer’s law.....	22
5.2 Extinction area.....	23
5.3 Log ₁₀ units.....	24
5.4 Light sources.....	24
5.5 Specific extinction area.....	24
5.6 Mass optical density.....	25
5.7 Visibility.....	26
6 Static and dynamic methods.....	26
6.1 Static methods.....	26
6.2 Dynamic methods.....	26
7 Test methods.....	28
7.1 Consideration of test methods.....	32
7.2 Selection of test specimen.....	32
8 Presentation of data.....	32
9 Relevance of data to hazard assessment.....	33
Annex A (informative) Calculation of visibility.....	35
Annex B (informative) Relationships between D_S and some other smoke parameters as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31.....	37
Annex C (informative) Relationships between percent transmission, as measured in a "three metre cube" enclosure, and extinction area.....	40
Bibliography.....	42
Figure 1 – Chart of Different phases in the development of a fire within a compartment.....	20
Figure 2 – Attenuation of light by smoke.....	23
Figure 3 – Extinction area.....	23
Figure 4 – Dynamic smoke measurement.....	27
Figure 5 – Evaluation and consideration of smoke test methods.....	34
Figure 6 – Example SPR_{AV} versus t curve.....	31
Figure 7 – SMOGRA curve derived from Figure 6.....	31

Figure A.1 – Visibility (ω) versus extinction coefficient (k).....	35
Figure B.1 – Smoke parameters related to D_S as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31.....	39
Figure C.1 – Extinction area (amount of smoke) related to percent transmission as measured in the "three metre cube".....	41
Table 1 – General classification of fires (ISO/TR 9122-1) Characteristics of fire stages (ISO 19706).....	18
Table B.1 – Conversion from D_S to some other smoke parameters as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31.....	38
Table C.1 – Conversions from percent transmission, as measured in the "three metre cube" to amount of smoke (extinction area).....	40

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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.

This consolidated version of IEC 60695-6-1 consists of the second edition (2005) [documents 89/692/FDIS and 89/696/RVD] and its amendment 1 (2010) [documents 89/905/CDV and 89/946A/RVC]. It bears the edition number 2.1.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.

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

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.

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

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 the base publication and its amendments will remain unchanged until the stability 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.

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

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.

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, 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~~

~~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~~

IEC 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*

IEC 60695-1-11¹, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*

IEC 60695-4:2005, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*

IEC 60695-6-2², *Fire hazard testing – Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods*

IEC 60695-6-30:1996, *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 60695-6-31:1999, *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/IEC Guide 51:1999, *Safety aspects – Guidelines for inclusion in standards*

ISO 5659-2:2006, *Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test*

ISO 5660-2:2002, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement)*

ISO 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 19706:2007, *Guidelines for assessing the fire threat to people*

NOTE ISO 9122-1:1989, *Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General*, has been withdrawn and replaced by ISO 19706:2007.

ASTM E 1354:2008, *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*

EN 13823:2002, *Reaction to fire tests for building products – Building products, excluding floorings, exposed to thermal attack by a single burning item*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purpose of this document, the terms and definitions ~~and symbols~~ given in ISO/IEC 13943, some of which are reproduced below for the users' convenience, as well as the following apply.

¹ To be published.

² To be published.

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**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, Δm 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

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~~

3.1.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

NOTE Combustion generally emits fire effluent accompanied by flames and/or glowing.

[ISO/IEC 13943, definition 4.46]

3.1.2

extinction area of smoke

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

NOTE It is a measure of the amount of smoke, and the typical units are square metres (m²).

[ISO /IEC 13943, definition 4.92]

3.1.3

extinction coefficient

natural logarithm of the ratio of incident light intensity to transmitted light intensity, per unit light path length

NOTE Typical units are reciprocal metres (m⁻¹).

[ISO/IEC 13943, definition 4.93]

3.1.4**fire**

⟨general⟩ process of combustion characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, flame or glowing or a combination thereof

NOTE In the English language the term "fire" is used to designate three concepts, two of which, fire (3.1.5) and fire (3.1.6), relate to specific types of self-supporting combustion with different meanings and two of them are designated using two different terms in both French and German.

[ISO/IEC 13943, definition 4.96]

3.1.5**fire**

⟨controlled⟩ self-supporting combustion that has been deliberately arranged to provide useful effects and is limited in its extent in time and space

[ISO/IEC 13943, definition 4.97]

3.1.6**fire**

⟨uncontrolled⟩ self-supporting combustion that has not been deliberately arranged to provide useful effects and is not limited in its extent in time and space

[ISO/IEC 13943, definition 4.98]

3.1.7**fire effluent**

totality of gases and aerosols, including suspended particles, created by combustion or pyrolysis in a fire

[ISO/IEC 13943, definition 4.105]

3.1.8**fire hazard**

physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from fire

[ISO/IEC 13943, definition 4.112]

3.1.9**fire model****fire simulation**

calculation method that describes a system or process related to fire development, including fire dynamics and the effects of fire

[ISO/IEC 13943, definition 4.116]

3.1.10**fire scenario**

qualitative description of the course of a fire with respect to time, identifying key events that characterise the studied fire and differentiate it from other possible fires

NOTE It typically defines the ignition and fire growth processes, the fully developed fire stage, the fire decay stage, and the environment and systems that impact on the course of the fire.

[ISO/IEC 13943, definition 4.129]

3.1.11**flashover**

⟨stage of fire⟩ transition to a state of total surface involvement in a fire of combustible materials within an enclosure

[ISO/IEC 13943, definition 4.156]

3.1.12
heat flux

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

NOTE The typical units are watts per square metre ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

[ISO/IEC 13943, definition 4.173]

3.1.13
ignition

sustained ignition (deprecated)

⟨general⟩ initiation of combustion

[ISO/IEC 13943, definition 4.187]

3.1.14
ignition

sustained ignition (deprecated)

⟨flaming combustion⟩ initiation of sustained flame

[ISO/IEC 13943, definition 4.188]

3.1.15
large-scale fire test

fire test, that cannot be carried out in a typical laboratory chamber, performed on a test specimen of large dimensions

NOTE A fire test performed on a test specimen of which the maximum dimension is greater than 3 m is usually called a large-scale fire test.

[ISO/IEC 13943, definition 4.205]

3.1.16
mass optical density of smoke

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

NOTE The typical units are square metres per gram ($\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$).

[ISO/IEC 13943, definition 4.225]

3.1.17
obscuration by smoke

reduction in the intensity of light due to its passage through smoke

cf. **extinction area of smoke** (3.1.2) and **specific extinction area of smoke** (3.1.26).

NOTE 1 In practice, obscuration by smoke is usually measured as the transmittance, which is normally expressed as a percentage.

NOTE 2 Obscuration by smoke causes a reduction in visibility.

[ISO/IEC 13943, definition 4.242]

3.1.18

opacity of smoke

ratio of incident light intensity to transmitted light intensity through smoke, under specified conditions

cf. **obscuration by smoke** (3.1.17)

NOTE 1 Opacity of smoke is the reciprocal of transmittance.

NOTE 2 The opacity of smoke is dimensionless.

[ISO/IEC 13943, definition 4.243]

3.1.19

optical density of smoke

measure of the attenuation of a light beam passing through smoke expressed as the logarithm to the base 10 of the opacity of smoke

cf. **specific optical density of smoke** (3.1.26)

NOTE The optical density of smoke is dimensionless.

[ISO/IEC 13943, definition 4.244]

3.1.20

real-scale fire test

fire test that simulates a given application, taking into account the real scale, the real way the item is installed and used, and the environment

NOTE Such a fire test normally assumes that the products are used in accordance with the conditions laid down by the specifier and/or in accordance with normal practice.

[ISO/IEC 13943, definition 4.273]

3.1.21

small-scale fire test

fire test performed on a test specimen of small dimensions

NOTE A fire test performed on a test specimen of which the maximum dimension is less than 1 m is usually called a small-scale fire test.

[ISO/IEC 13943, definition 4.292]

3.1.22

SMOGRA

smoke growth rate parameter that is a function of the rate of smoke production and the time of smoke production

NOTE Further details are given in 6.2.4.

3.1.23

SMOGRA index

maximum value of SMOGRA during a defined test period

NOTE Further details are given in 6.2.4.

3.1.24

smoke

visible part of fire effluent

[ISO/IEC 13943, definition 4.293]

3.1.25**smoke production rate**

amount of smoke produced per unit time in a fire or fire test

NOTE 1 It is calculated as the product of the volumetric flow rate of smoke and the extinction coefficient of the smoke at the point of measurement.

NOTE 2 The typical units are square metres per second ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$).

[ISO/IEC 13943, definition 4.295]

3.1.26**specific extinction area of smoke**

extinction area of smoke produced by a test specimen in a given time period divided by the mass lost from the test specimen in the same time period

NOTE The typical units are square metres per gram ($\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$).

[ISO/IEC 13943, definition 4.301]

3.1.27**specific optical density of smoke**

optical density of smoke multiplied by a geometric factor

NOTE 1 The geometric factor is equal to $V/(A\cdot L)$, where V is the volume of the test chamber, A is the area of the exposed surface of the test specimen, and L is the light path length.

NOTE 2 The use of the term “specific” does not denote “per unit mass” but rather denotes a quantity associated with a particular test apparatus and area of the exposed surface of the test specimen.

NOTE 3 The specific optical density of smoke is dimensionless.

[ISO/IEC 13943, definition 4.303]

3.1.28**visibility**

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

[ISO/IEC 13943, definition 4.350]

3.2 Symbols

Symbol	Quantity	Typical units
A	exposed area of test specimen	m^2
D	linear decadic absorption coefficient (commonly called optical density per metre)	m^{-1}
D'	optical density	dimensionless
D_{mass}	mass optical density	$m^2 \text{ kg}^{-1}$
D_s	specific optical density	dimensionless
D_{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^{-1}
L	light path length through smoke	m
Δm	mass loss of test specimen	kg
\dot{m}	mass loss rate	kg s^{-1}
S	smoke extinction area (also total smoke)	m^2
\dot{S}	smoke production rate (rate of change of extinction area)	$m^2 \text{ s}^{-1}$
t	time	s
Δt	sampling time interval	s
T	intensity of transmitted light	W
V	volume of chamber	m^3
\dot{V}	volume flow rate of smoke	$m^3 \text{ s}^{-1}$
σ_f	specific extinction area	$m^2 \text{ kg}^{-1}$
γ	a constant of proportionality between visibility and extinction coefficient	dimensionless
ω	visibility	m

NOTE 1 The quantities based on \log_{10} , i.e. D , D' , D_{max} , D_{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 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~~ **types** of 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 **assessment** of electrotechnical products is given in IEC ~~60695-1-1~~ **60695-1-10**.

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.

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

Stages of fire		Oxygen [*] %	Ratio CO ₂ /CO ^{**}	Temperature [*] °C	Irradiance ^{***} kW/m ²
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).					

Table 1 – Characteristics of fire stages (ISO 19706)

Fire stage	Heat flux to fuel surface kW/m ²	Max. temperature °C		Oxygen volume %		Fuel/air equivalence ratio (plume)	$\frac{[CO]}{[CO_2]}$ v/v	$\frac{100 \times [CO_2]}{([CO_2] + [CO])}$ % efficiency
		Fuel surface	Upper layer	Entrained	Exhausted			
1. Non-flaming								
a) self-sustaining (smouldering)	not applicable	450 to 800	25 to 85 ^d	20	20	—	0,1 to 1	50 to 90
b) oxidative pyrolysis from externally applied radiation	—	300 to 600 ^a	b	20	20	< 1	c	c
c) anaerobic pyrolysis from externally applied radiation	—	100 to 500	b	0	0	>> 1	c	c
2. Well-ventilated flaming ^d	0 to 60	350 to 650	50 to 500	≈ 20	≈ 20	< 1	< 0,05 ^e	> 95
3. Under-ventilated flaming^f								
a) small, localized fire, generally in a poorly ventilated compartment	0 to 30	300 to 600 ^a	50 to 500	15 to 20	5 to 10	> 1	0,2 to 0,4	70 to 80
b) post-flashover fire	50 to 150	350 to 650 ^g	> 600	< 15	< 5	> 1 ^h	0,1 to 0,4 ⁱ	70 to 90
<p>a The upper limit is lower than for well-ventilated flaming combustion of a given combustible.</p> <p>b The temperature in the upper layer of the fire room is most likely determined by the source of the externally applied radiation and room geometry.</p> <p>c There are few data; but for pyrolysis, this ratio is expected to vary widely depending on the material chemistry and the local ventilation and thermal conditions.</p> <p>d The fire's oxygen consumption is small compared to that in the room or the inflow, the flame tip is below the hot gas upper layer or the upper layer is not yet significantly vitiated to increase the CO yield significantly, the flames are not truncated by contact with another object, and the burning rate is controlled by the availability of fuel.</p> <p>e The ratio may be up to an order of magnitude higher for materials that are fire-resistant. There is no significant increase in this ratio for equivalence ratios up to ≈ 0,75. Between ≈ 0,75 and 1, some increase in this ratio may occur.</p> <p>f The fire's oxygen demand is limited by the ventilation opening(s); the flames extend into the upper layer.</p> <p>g Assumed to be similar to well-ventilated flaming.</p> <p>h The plume equivalence ratio has not been measured; the use of a global equivalence ratio is inappropriate.</p> <p>i Instances of lower ratios have been measured. Generally, these result from secondary combustion outside the room vent.</p>								

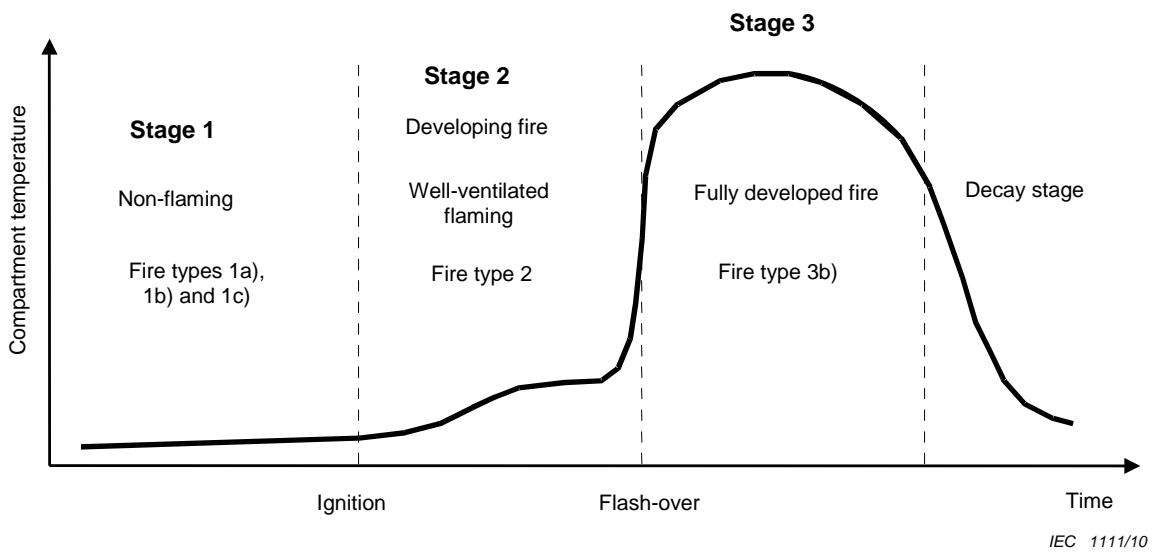
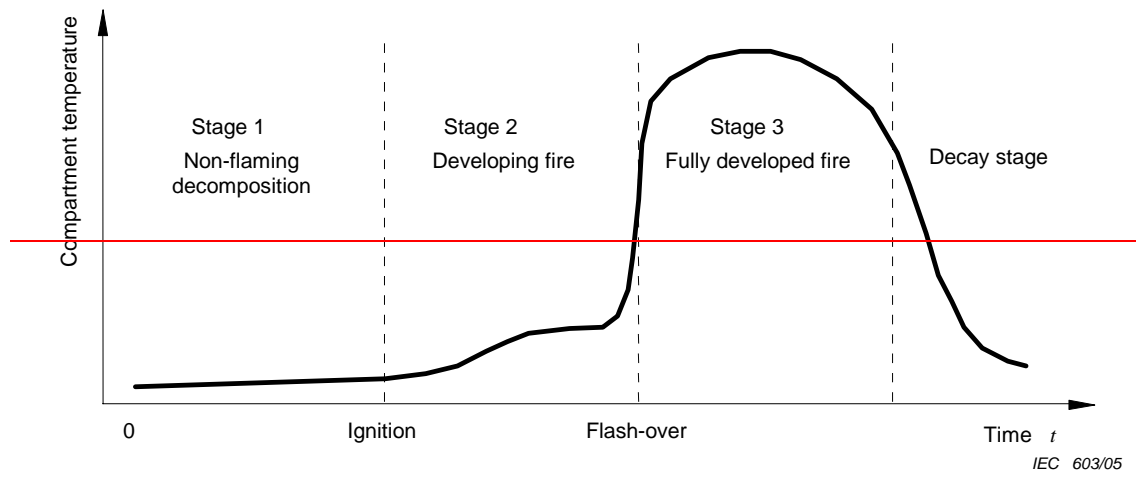


Figure 1 – ~~Chart of~~ Different phases in the development of a fire within a compartment

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 μm , 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 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]³. 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 (m²).

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⁻¹)

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).

³ Figures in square brackets refer to the bibliography.

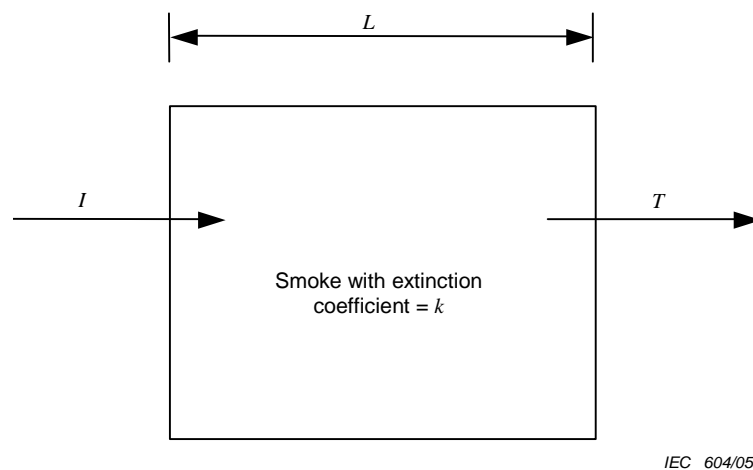


Figure 2 – Attenuation of light by smoke

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:

$$S = kV \quad (3)$$

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

This equation only applies if the smoke is homogeneous.

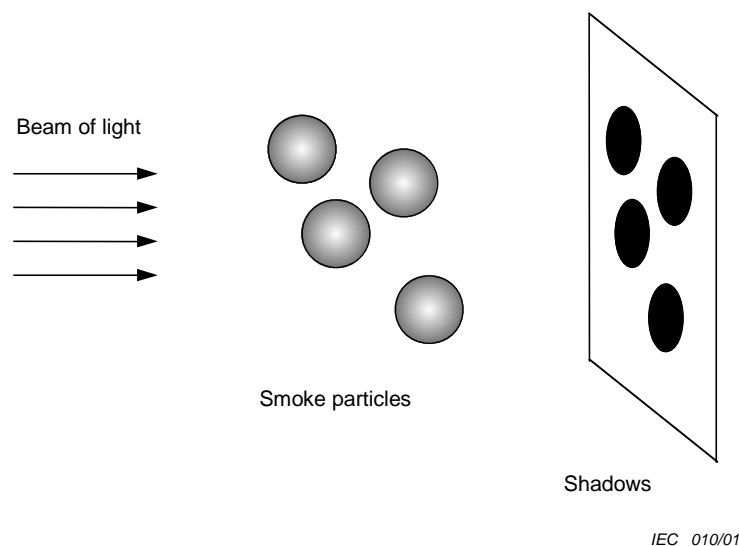


Figure 3 – Extinction area

5.3 Log₁₀ 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⁻¹).

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

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

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

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, σ_f , can be calculated:

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

where Δm is the mass loss of the test specimen.

The units of σ_f are area/mass, e.g. m²·kg⁻¹.

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

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 m². The σ_f value will therefore be 0,08 m²·g⁻¹. 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 m². The σ_f value in this case will be 0,5 m²·g⁻¹.

It is important to realise that σ_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 (Δm) 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 log₁₀ units the equivalent variable to σ_f is called mass optical density (D_{mass}) and is related to σ_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. m² kg⁻¹.

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;

Δm 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 Visibility

If the constant of proportionality (γ) between visibility (ω) 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).~~

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. m^2s^{-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. s^{-1} .

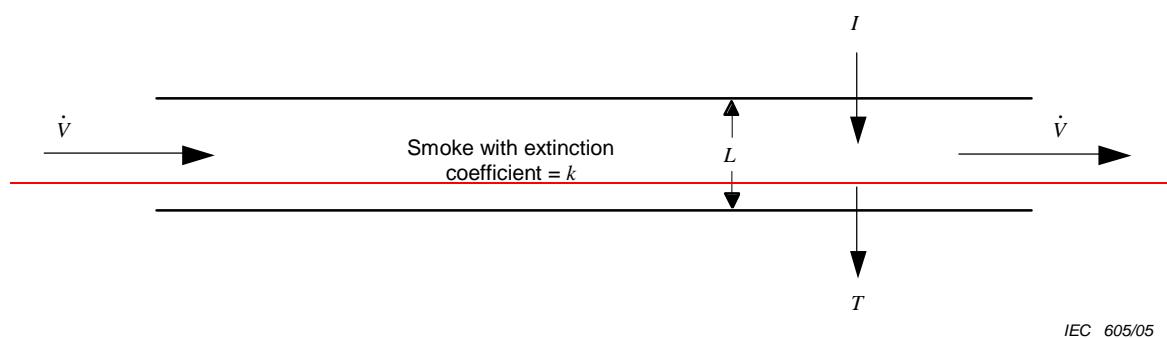


Figure 4 – Dynamic smoke measurement

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

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.

6.1 Static methods

6.1.1 Principles

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.

6.1.2 Extinction area

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, (I/T), the volume of the chamber, V , and the light path length, L .

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

This equation only applies if the smoke is homogeneous. The units of extinction area are typically square metres (m^2).

6.1.3 Specific optical density

In some tests, including 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 should be kept constant.

6.1.4 Prediction of visibility

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

6.2.1 Principles

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). The flow rate of the smoke is measured at a position close to where the opacity is measured.

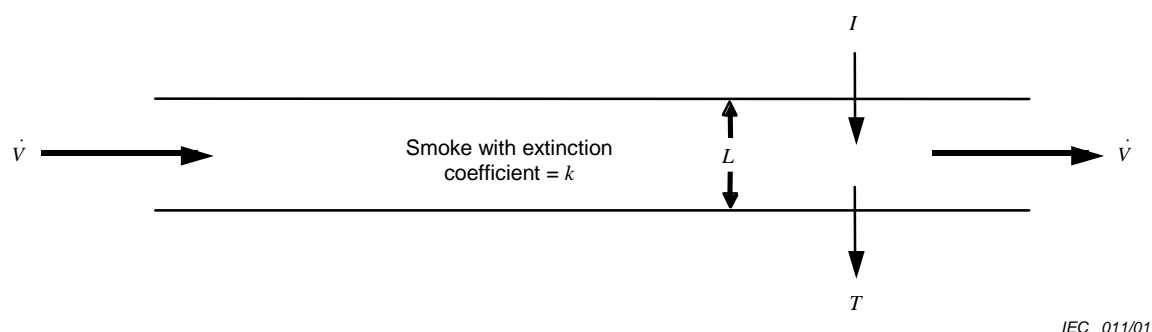


Figure 4 – Dynamic smoke measurement

6.2.2 Smoke production rate

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.

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

When the exposed test specimen area involved is known, as in the cone calorimeter ASTM E 1354 and ISO 5660, or furniture calorimeters, the smoke production rate can be normalized per unit area of the exposed test specimen. The units then become reciprocal time, e.g. $(\text{m}^2/\text{s})/\text{m}^2$, i.e. s^{-1} .

6.2.3 Total smoke production

Integrated data on total smoke production is also of interest, especially when comparing materials or scenarios that 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 $25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). 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.

6.2.4 SMOGRA index

SMOGRA is an abbreviation for Smoke Growth Rate. SMOGRA values are affected by both the rate of smoke production and the time at which the smoke is being produced, and are calculated using the following formula:

$$\text{SMOGRA} = 10\,000 \times [\text{SPR}_{\text{av}}(t) / (t-t_0)] \quad (22)$$

where

$\text{SPR}_{\text{av}}(t)$ is the smoke production rate at time t , and

t_0 is the time at which the test specimen is first exposed to the test flame.

The SMOGRA index is defined as the maximum value of the function during the time period of the test.

The SMOGRA index was devised in the development of EN 13823, which is an intermediate scale corner test used for the regulation of building products in Europe. As a single value parameter for regulatory purposes, some consider that the SMOGRA index gives a better indication of the severity of smoke production than either total smoke production or the average rate of smoke production.

NOTE In EN 13823, the SPR value is a 60 s moving average, and the start of exposure of the test specimen to the test flame is at $t = 300$ s.

Figure 5 shows an example SPR_{av} versus t curve, and Figure 6 shows the SMOGRA curve derived from these data. The peak smoke production rate is $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ at $t = 960$ s, and the SMOGRA index is $8,2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ at $t = 857$ s.

The SMOGRA index may be a useful parameter for assessing smoke hazard because it combines the smoke production rate with the time elapsed to reach it. Note that the SMOGRA index always refers to a time shorter than the time of maximum smoke production (in the given curves, 857 s compared to 960 s).

However, the SMOGRA index should be treated with extreme caution in cases where there is an early rapid but low smoke production. In such cases, the SMOGRA value at small $t-t_0$ values may be larger than values calculated from the significant part of the curve and the obtained SMOGRA index may be both irrelevant and misleading.

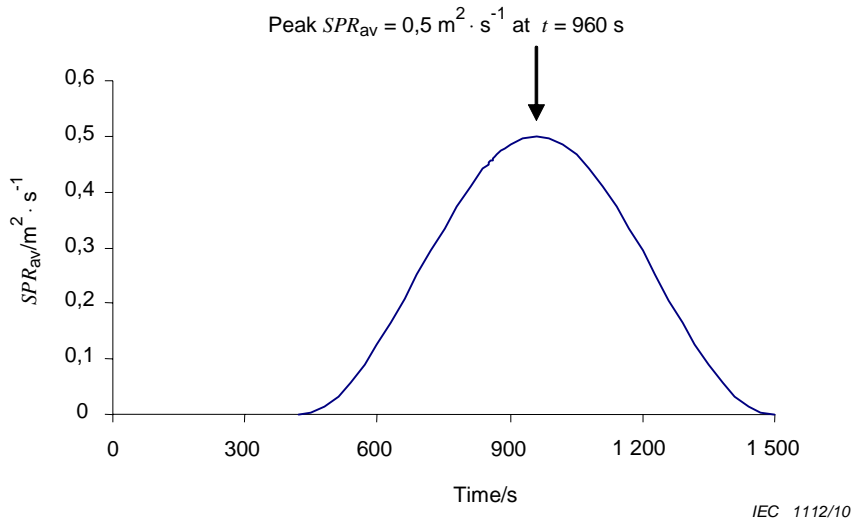


Figure 6 – Example SPR_{av} versus t curve

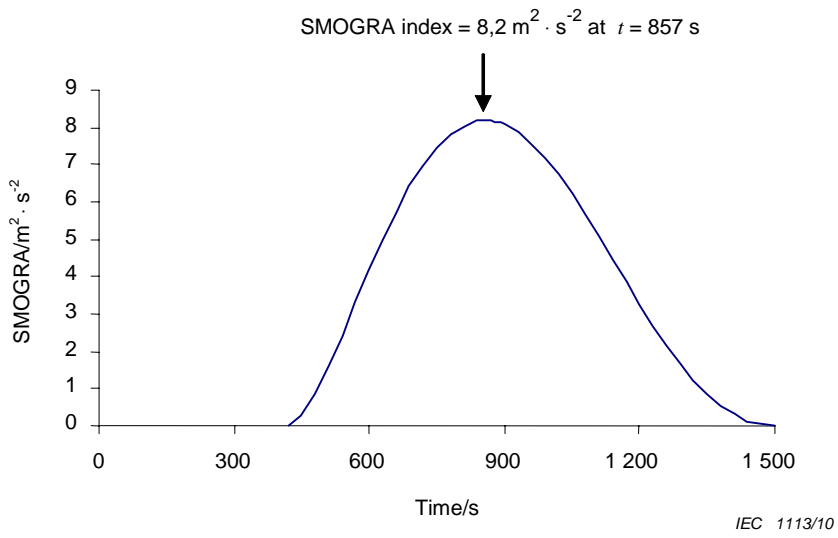


Figure 7 – SMOGRA curve derived from Figure 6

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 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.

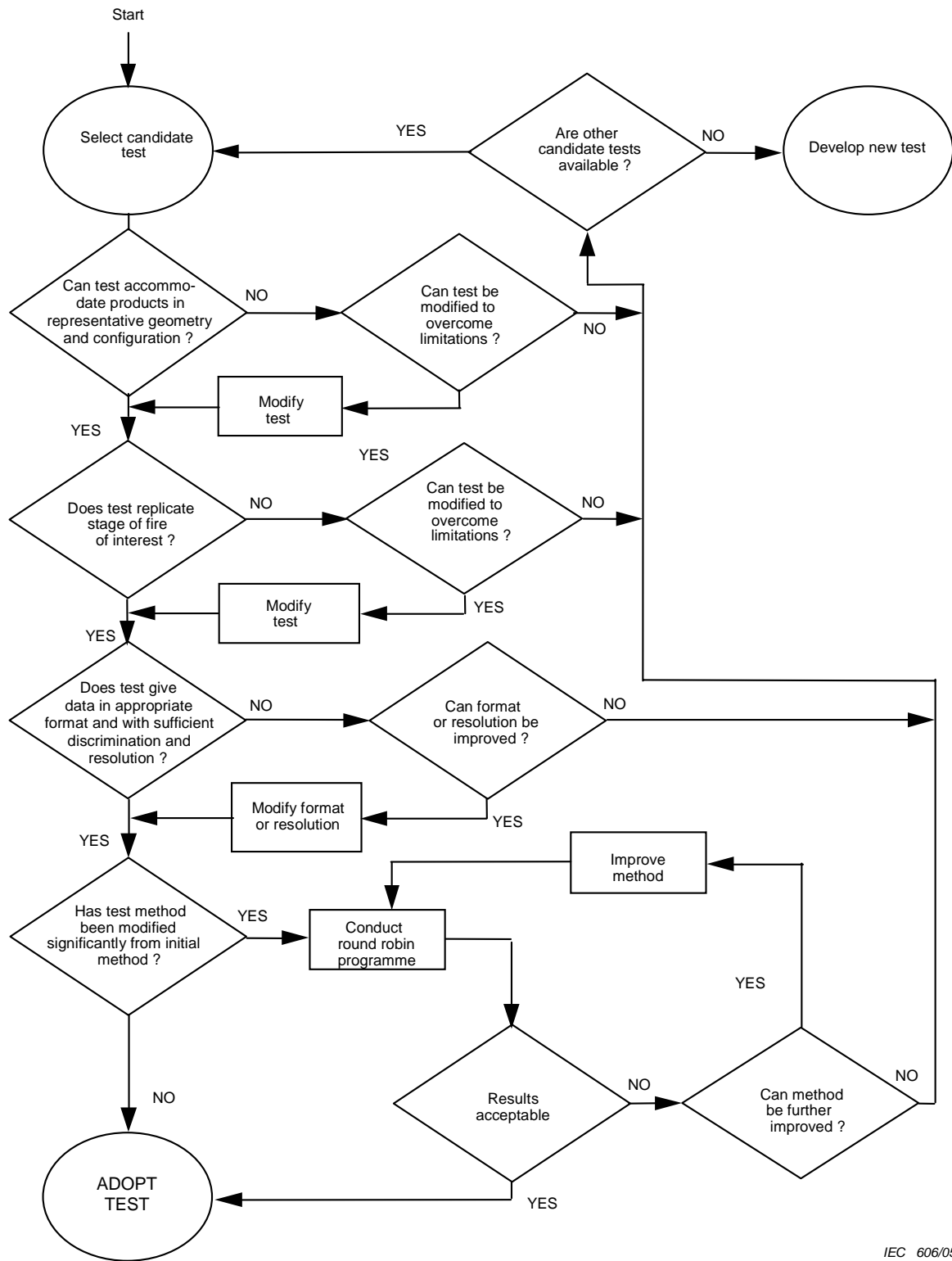
There are many other factors associated with visibility in an escape route, including:

- 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

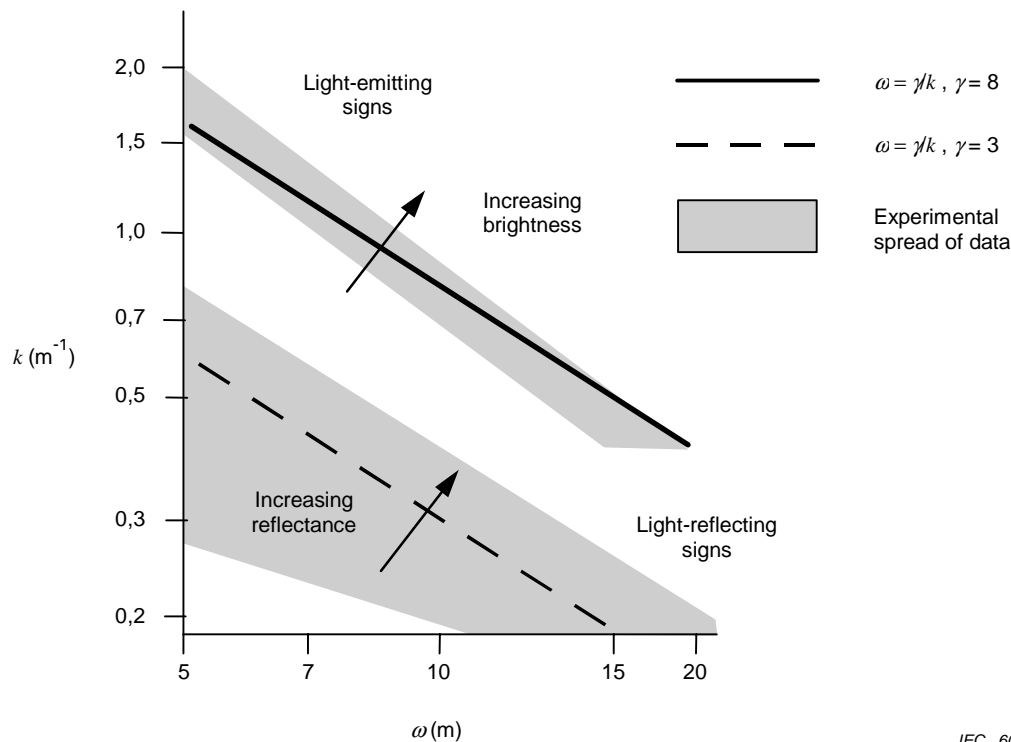
Figure 5 – Evaluation and consideration of smoke test methods

Annex A (informative)

Calculation of visibility

Figure A.1 shows the relationships reported by Jin [2] 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. $\omega = \gamma/k$, γ 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 γ of 3 and 8 for light-reflecting and light-emitting signs, respectively. In BS DD240, Part 1 [3], values of 2,30 and 5,76 have been selected.



IEC 607/05

Figure A.1 – Visibility (ω) 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.

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 [4] which will properly extrapolate to clear air conditions.

Annex B (informative)

Relationships between D_S and some other smoke parameters as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31

A simple calculation can be performed to convert the specific optical density D_S , as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31, to an extinction area S .

Although such a conversion may prove to be useful to compare smoke obscuration data using the same units, caution should be exercised when doing so, as such a calculation does not take into account the different conditions of testing from one set of experiments to another (e.g. geometric factors of the testing chambers).

Thus, a D_S measurement, expressed in terms of S , should not be directly compared with another value of S , measured from a different testing method.

For a given test specimen surface area, the specific optical density, D_S , is directly proportional to the extinction area, S . In the case of IEC 60695-6-30, the surface area of the test specimen is 0,004225 m² and

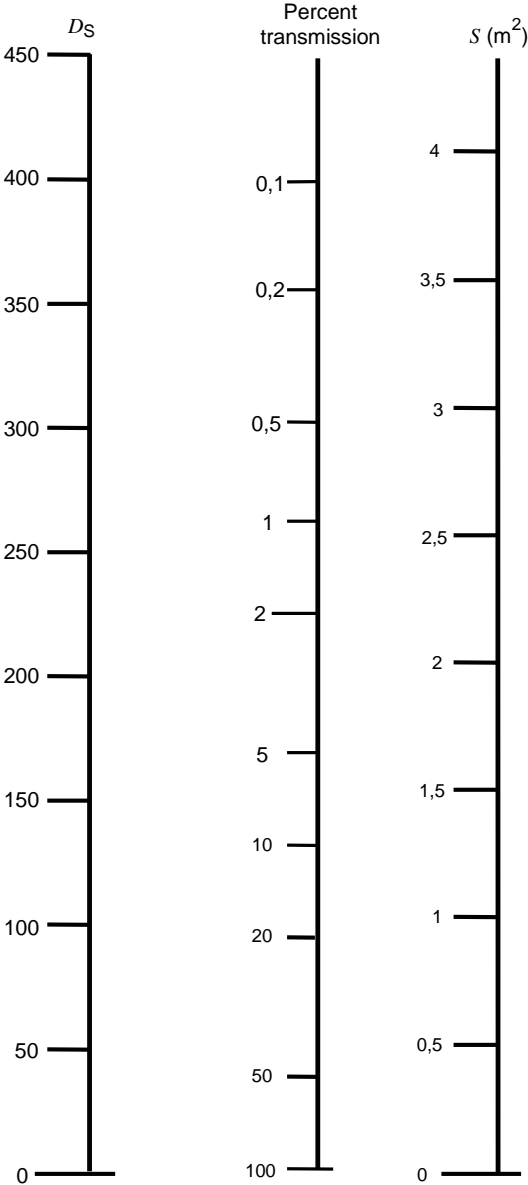
$$S = (0,00973 \text{ m}^2) D_S \quad (\text{B.1})$$

Table B.1 shows the relationship between the specific optical density, the percent transmission and the extinction area for IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31.

Table B.1 – Conversion from D_s to some other smoke parameters as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31

D_s	Percent transmission %	Extinction area, S m^2
450	0,04	4,38
400	0,09	3,89
350	0,22	3,41
300	0,53	2,92
250	1,28	2,43
200	3,05	1,95
150	7,31	1,46
100	17,48	0,97
75	27,03	0,73
50	41,80	0,49
30	59,26	0,29
20	70,55	0,19
15	76,98	0,15
10	83,99	0,10
5	91,65	0,05
0	100,00	0,00

Figure B.1 gives a useful visual representation of the smoke parameters listed in Table B.1.



IEC 608/05

Figure B.1 – Smoke parameters related to D_s as measured in IEC 60695-6-30 and IEC 60695-6-31

Annex C
(informative)

Relationships between per cent transmission, as measured in a "three metre cube" enclosure, and extinction area

The test specimen is burned in a "three metre cube" enclosure and the per cent transmission of light is calculated from the ratio of the incident light to the transmitted light (I/T). The test is a static smoke test.

The test currently specified in IEC 61034-1 [5] and IEC 61034-2 [6] is a specific application of this type of test relating to cables.

Table C.1 shows the conversions between the per cent transmission and extinction area for the "three metre cube".

Table C.1 – Conversions from per cent transmission, as measured in the "three metre cube" to amount of smoke (extinction area)

Percent transmission	Amount of smoke, S m^2
0,10	62,18
0,20	55,94
0,40	49,70
1,00	41,45
2,00	35,21
4,00	28,98
5,00	26,97
10,00	20,73
15,00	17,08
20,00	14,49
30,00	10,84
40,00	8,25
50,00	6,24
60,00	4,60
70,00	3,21
80,00	2,01
90,00	0,95
100,00	0,00

Figure C.1 gives a useful visual representation of the smoke parameters listed in Table C.1.

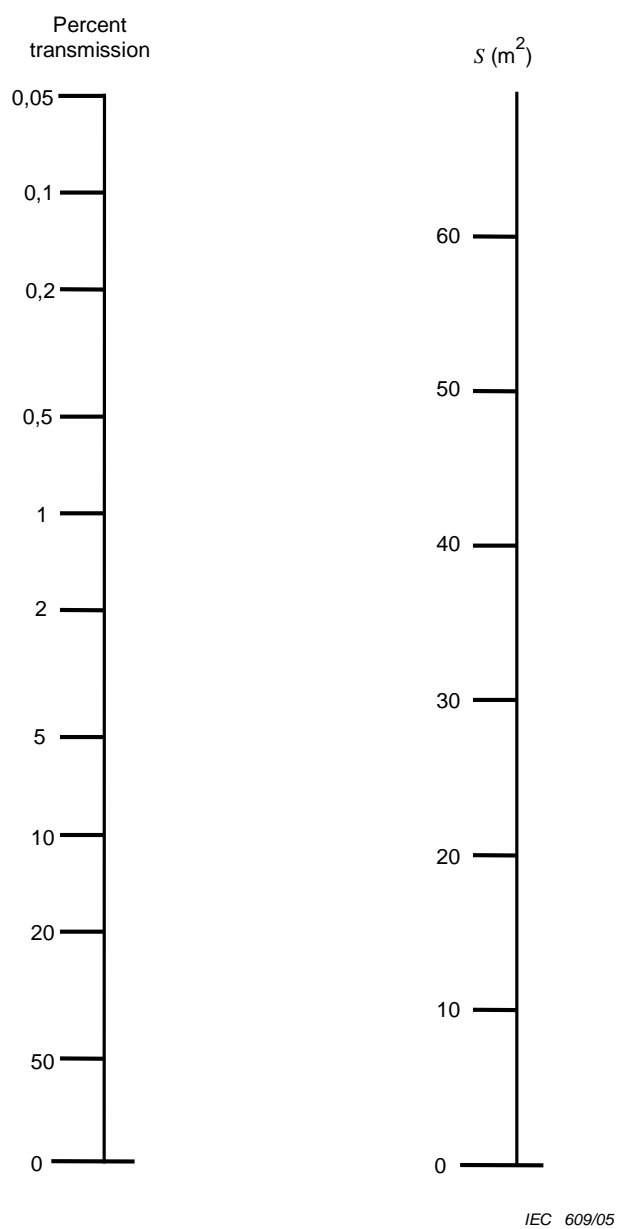


Figure C.1 – Extinction area (amount of smoke) related to per cent transmission as measured in the "three metre cube"

Bibliography

- [1] ~~Mulholland, G. W., *Smoke production and properties. Section 2/15 in the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd edition, NFPA, USA (1995)*~~
- Mulholland, G. W., *Smoke Production and Properties*, in the *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd edn., DiNenno, P. J. et al. (Editors), NFPA, Quincy, MA, USA, 2002
- [2] ~~ASTM E1354: *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter (1999)*~~
- [2] Jin, T., *Visibility through fire smoke*, Journal of Fire and Flammability, 9, pp 135-157, April (1978)
- [3] BS DD240: *Fire safety engineering in buildings – Part 1: Guide to the application of fire safety engineering principles* (1997)
- [4] Webber, G. M. B., *Emergency wayfinding systems: their effectiveness in smoke*, Building Research Establishment Information Paper IP10 (1997)
- [5] IEC 61034-1: 1997, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus*
- [6] IEC 61034-2: 1997, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	46
INTRODUCTION	48
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives	49
3 Termes, définitions et symboles	51
3.1 Termes et définitions	51
3.2 Symboles	58
4 Aspects généraux des méthodes d'essais relatives à la fumée	59
4.1 Scénarios et modèles feu	59
4.2 Facteurs affectant la production de fumée.....	63
5 Principes de mesure de la fumée	64
5.1 Loi de Bouguer	64
5.2 Surface d'extinction	65
5.3 Unités \log_{10}	66
5.4 Sources lumineuses	66
5.5 Surface d'extinction spécifique.....	66
5.6 Densité optique massique	67
5.7 Visibilité.....	68
6 Méthodes statiques et dynamiques.....	68
6.1 Méthodes statiques.....	68
6.2 Méthodes dynamiques	68
7 Méthodes d'essais	74
7.1 Considérations sur les méthodes d'essais.....	74
7.2 Sélection de l'éprouvette d'essai.....	74
8 Présentation des résultats.....	74
9 Relation entre les données et l'évaluation du risque	75
Annexe A (informative) Calcul de la visibilité.....	77
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	79
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	82
Bibliographie	84
Figure 1 – Diagramme représentant les Différentes phases du développement d'un feu à l'intérieur d'un local	62
Figure 2 – Atténuation de la lumière par la fumée	65
Figure 3 – Surface d'extinction	65
Figure 4 – Mesure dynamique de la fumée	69
Figure 5 – Evaluation et considération des méthodes d'essais de fumée.....	76
Figure 6 – Exemple de courbe SPR_{av} par rapport à t	73
Figure 7 – Courbe SMOGRA issue de la Figure 6	73

Figure A.1 – Visibilité (ω) en fonction du coefficient d'extinction (k)	77
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	81
Figure C.1 – Rapport entre la surface d'extinction (quantité de fumée) et le pourcentage de transmission mesuré dans l'enceinte «three metre cube».....	83
Tableau 1 – Classification générale des feux (ISO/TR 9122-1) Caractéristiques des types de feu (ISO 19706)	60
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	80
Tableau C.1 – Conversion du pourcentage de transmission mesuré dans l'enceinte «three metre cube» en quantité de fumée (surface d'extinction).....	82

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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.

Cette version consolidée de la CEI 60695-6-1 comprend la deuxième édition (2005) [documents 89/692/FDIS et 89/696/RVD] et son amendement 1 (2009) [documents 89/905/CDV et 89/946A/RVC]. Elle porte le numéro d'édition 2.1.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.

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.

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.

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

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 la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité 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.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

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.

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, 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~~

~~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~~

~~CEI 60695-1-10, Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-10: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Lignes directrices générales~~

~~CEI 60695-1-111, Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-11: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Evaluation des risques du feu~~

~~CEI 60695-4:2005, Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques~~

~~CEI 60695-6-22, Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essai~~

~~CEI 60695-6-30:1996, 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 des produits électrotechniques impliqués dans des feux – Section 30: Méthode statique à petite échelle – Détermination de l'opacité des fumées – Description de l'appareillage~~

~~CEI 60695-6-31:1999, 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~~

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

~~ISO 5659-2:2006, Plastiques – Production de fumée – Partie 2: Détermination de la densité optique par un essai en enceinte unique~~

~~ISO 5660-2:2002, Essais de réaction au feu – Débit calorifique, taux de dégagement de fumée et taux de perte de masse – Partie 2: Taux de dégagement de fumée (mesure dynamique)~~

~~ISO 13943:2008, Sécurité au feu – Vocabulaire~~

~~ISO 19706:2007, Lignes directrices pour l'évaluation des dangers du feu pour les personnes~~

~~NOTE L'ISO 9122-1:1989, Essais de toxicité des effluents du feu – Partie 1: Généralités, a été supprimée et remplacée par l'ISO 19706:2007~~

~~ASTM E 1354:2008, Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter~~

~~EN 13823:2002, Essais de réaction au feu des produits de construction – Produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu~~

1 A publier.

2 A publier.

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions ~~et symboles~~ suivants s'appliquent ~~ainsi que ceux donnés dans l'ISO/CEI 13943 dont certains sont repris ci-dessous par commodité pour l'utilisateur.~~

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]~~

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 paillasse 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, Δm 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]

3.1.15**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~~

3.1.1 combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.46]

3.1.2 surface d'extinction de la fumée

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

NOTE Il s'agit d'une mesure de la quantité de fumée, et elle est exprimée en mètres carrés (m²).

[ISO/CEI 13943, définition 4.92]

3.1.3 coefficient d'extinction

logarithme népérien du rapport de l'intensité lumineuse incidente à l'intensité lumineuse émise, par unité de longueur de la trajectoire optique

NOTE Il est exprimé en mètres à la puissance moins un (m⁻¹).

[ISO/CEI 13943, définition 4.93]

3.1.4 feu

(général) processus de combustion caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des flammes, une incandescence ou par une combinaison de ces éléments

NOTE En anglais, le terme « fire » est utilisé pour désigner trois concepts, dont deux: *fire* (feu) (3.1.5) et *fire* (incendie) (3.1.6), se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenu ayant des significations diverses et deux d'entre eux sont désignés par deux termes différents tant en français qu'en allemand.

[ISO/CEI 13943, définition 4.96]

3.1.5 feu

(contrôlé) combustion auto-entretenu qui a été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée

[ISO/CEI 13943, définition 4.97]

3.1.6 incendie

(non contrôlé) combustion auto-entretenu qui n'a été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace n'est pas contrôlée

[ISO/CEI 13943, définition 4.98]

3.1.7 effluents du feu

ensemble des gaz et des aérosols, y compris les particules en suspension, dégagés par combustion ou pyrolyse au cours d'un feu

[ISO/CEI 13943, définition 4.105]

3.1.8 danger d'incendie

objet physique ou condition susceptible d'entraîner des conséquences non souhaitables causées par un incendie

[ISO/CEI 13943, définition 4.112]

3.1.9 modèle feu modélisation feu

méthode de calcul qui décrit un système ou un procédé relatif au développement d'un feu, y compris la dynamique du feu et les effets du feu

[ISO/CEI 13943, définition 4.116]

3.1.10 scénario d'incendie

description qualitative du déroulement d'un incendie dans le temps, identifiant les événements clés qui caractérisent l'incendie et le différencient des autres incendies potentiels

NOTE Il définit typiquement les processus d'allumage et de croissance du feu, le stade de feu complètement développé, le stade de déclin du feu, ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[ISO/CEI 13943, définition 4.129]

3.1.11 embrasement généralisé flashover

(stade d'incendie) passage à un état implicant dans un incendie l'ensemble des surfaces des matériaux combustibles dans une enceinte

[ISO/CEI 13943, définition 4.156]

3.1.12 flux de chaleur

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

NOTE Il est exprimé en watts par mètre carré ($W \cdot m^{-2}$).

[ISO/CEI 13943, définition 4.173]

3.1.13 allumage allumage persistant (déconseillé)

(général) amorçage de la combustion

[ISO/CEI 13943, définition 4.187]

3.1.14 allumage allumage persistant (déconseillé) (combustion avec flamme) déclenchement d'une flamme persistante

[ISO/CEI 13943, définition 4.188]

3.1.15

essai au feu à grande échelle

essai au feu, qui ne peut pas être réalisé dans une pièce typique de laboratoire et qui est effectué sur une éprouvette d'essai de grandes dimensions

NOTE Un essai au feu effectué sur une éprouvette dont la dimension maximale est supérieure à 3 m est habituellement appelé essai grande échelle.

[ISO/CEI 13943, définition 4.205]

3.1.16

densité optique massique de la fumée

densité optique de la fumée multipliée par le coefficient $V/(\Delta m L)$, où V est le volume de la chambre d'essai, Δm la perte de masse de l'éprouvette d'essai et L la longueur du trajet optique

NOTE Elle est exprimée en mètres carrés par gramme ($m^2 \cdot g^{-1}$).

[ISO/CEI 13943, définition 4.225]

3.1.17

obscurcissement par la fumée

réduction de l'intensité de la lumière lors de son passage à travers la fumée

cf. **surface d'extinction de la fumée** (3.1.2) et **surface spécifique d'extinction de la fumée** (3.1.26).

NOTE 1 En pratique, l'obscurcissement par la fumée est mesuré généralement comme la transmittance, qui est exprimée normalement en pourcentage.

NOTE 2 L'obscurcissement par la fumée provoque une diminution de la visibilité.

[ISO/CEI 13943, définition 4.242]

3.1.18

opacité de la fumée

rapport de l'intensité lumineuse incidente à l'intensité lumineuse transmise à travers la fumée, dans des conditions spécifiées

cf. **obscurcissement par la fumée** (3.17)

NOTE 1 L'opacité de la fumée est l'inverse de la transmittance.

NOTE 2 L'opacité de la fumée est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943, définition 4.243]

3.1.19

densité optique de la fumée

mesure de l'atténuation du rayon lumineux passant à travers la fumée, exprimée comme le logarithme décimal de l'opacité de la fumée

cf. **densité optique spécifique de la fumée** (3.1.26)

NOTE La densité optique de la fumée est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943, définition 4.244]

3.1.20

essai au feu en grandeur réelle

essai au feu qui simule une application donnée en prenant en compte les dimensions réelles, l'utilisation ou l'installation réelle de l'objet, et l'environnement

NOTE Cet essai feu suppose que les produits sont utilisés suivant les conditions fixées par le prescripteur ou conformément à la pratique normale.

[ISO/CEI 13943, définition 4.273]

3.1.21**essai au feu à petite échelle**

essai au feu effectué sur une éprouvette d'essai de petites dimensions

NOTE Un essai au feu effectué sur une éprouvette dont la dimension maximale est inférieure à 1 m est habituellement appelé essai au feu à petite échelle.

[ISO/CEI 13943, définition 4.292]

3.1.22**SMOGRA**

paramètre de vitesse de développement de la fumée qui est fonction du rapport entre la production de la fumée et le temps de production de la fumée

NOTE D'autres détails sont donnés en 6.2.4

3.1.23**indice SMOGRA**

valeur maximale de SMOGRA pendant une période d'essai définie

NOTE D'autres détails sont donnés en 6.2.4

3.1.24**fumée**

partie visible des effluents du feu

[ISO/CEI 13943, définition 4.293]

3.1.25**taux de dégagement de fumée**

quantité de fumée produite par unité de temps au cours d'un feu d'un essai au feu

NOTE 1 Il est calculé comme le produit du débit volumétrique de fumées par le coefficient d'extinction de la fumée au point de mesure.

NOTE 2 Il est exprimé en mètres carrés par seconde ($m^2 \cdot s^{-1}$).

[ISO/CEI 13943, définition 4.295]

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

surface d'extinction de la fumée produite par une éprouvette d'essai pendant une période donnée divisée par la perte de masse de l'éprouvette pendant la même période

NOTE Elle est exprimée en mètres carrés par gramme ($m^2 \cdot g^{-1}$).

[ISO/CEI 13943, définition 4.301]

3.1.27**densité optique spécifique de la fumée**

densité optique de la fumée multipliée par un coefficient géométrique

NOTE 1 Le coefficient géométrique est $V/(A \cdot L)$, où V est le volume de la chambre d'essai, A est l'aire de la surface exposée de l'éprouvette d'essai, et L est la longueur du trajet optique.

NOTE 2 Le terme "spécifique" ne signifie pas "par unité de masse", mais indique plutôt une grandeur associée à un appareillage d'essai particulier et à l'aire de la surface exposée de l'éprouvette d'essai.

NOTE 3 La densité optique de la fumée est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943, définition 4.303]

**3.1.28
visibilité**

distance maximale à laquelle un objet de dimension, luminosité et contraste définis peut être vu et reconnu

[ISO/CEI 13943, définition 4.350]

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_{mass}	densité optique massique	$m^2 \text{ kg}^{-1}$
D_s	densité optique spécifique	sans dimension
D_{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
Δm	perte de masse de l'éprouvette d'essai	kg
\dot{m}	vitesse de perte de masse	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
Δt	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	$m^3 \text{ s}^{-1}$
σ_f	surface d'extinction spécifique	$m^2 \text{ kg}^{-1}$
γ	constante de proportionnalité entre la visibilité et le coefficient d'extinction	sans dimension
ω	visibilité	m

NOTE 1 Les grandeurs basées sur \log_{10} , c'est-à-dire D , D' , D_{max} , D_{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».

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 différents ~~phases d'un types de~~ feu sont liés 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~~. CEI 60695-1-10.

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.

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

Stades de feu		Volume d'oxygène* %	Rapport CO ₂ /CO**	Température* °C	Irradiance*** kW/m ²
Phase 4	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).					

Tableau 1 – Caractéristiques des types de feu (ISO 19706)

Type de feu	Éclaircissement énergétique à la surface du combustible kW/m ²	Température max. °C		Volume d'oxygène %		Rapport d'équivalence combustible/air (panache)	$\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}$ v/v	$\frac{100 \times [\text{CO}_2]}{([\text{CO}_2] + [\text{CO}]}$ Rendement %
		Surface du combustible	Couche supérieure	Entraîné	Evacué			
1. Sans flammes								
a) feu couvant (auto-entretenu)	non applicable	450 à 800	25 à 85 ^d	20	20	—	0,1 à 1	50 à 90
b) pyrolyse par oxydation provenant d'un rayonnement appliqué à l'extérieur	—	300 à 600 ^a	b	20	20	< 1	c	c
c) pyrolyse anaérobie provenant d'un rayonnement appliqué à l'extérieur	—	100 à 500	b	0	0	>> 1	c	c
2. Flammes bien ventilées ^d	0 à 60	350 à 650	50 à 500	≈ 20	≈ 20	> 1	< 0,05 ^e	> 95
3. Flammes avec ventilation insuffisante ^f								
a) feu de taille réduite, localisé, généralement dans un local mal ventilé	0 à 30	300 à 600 ^a	50 à 500	15 à 20	5 à 10	> 1	0,2 à 0,4	70 à 80
b) feu de post-embrasement éclair	50 à 150	350 à 650 ^g	> 600	< 15	< 5	> 1 ^h	0,1 à 0,4	70 à 90
<p>a La limite supérieure est inférieure à la combustion avec flamme bien ventilée d'un combustible donné.</p> <p>b La température de la couche supérieure de la pièce où se situe le feu est très probablement déterminée par la source du rayonnement appliqué à l'extérieur et par la géométrie de la pièce.</p> <p>c Il existe peu de données, mais pour la pyrolyse, on s'attend à ce que ce rapport varie largement en fonction de la chimie des matériaux et des conditions thermiques et de ventilation locales.</p> <p>d La consommation en oxygène du feu est réduite comparativement au volume de la pièce ou à l'apport extérieur, le sommet de la flamme se situe en dessous de la couche supérieure de gaz chaude ou bien la couche supérieure n'est pas encore viciée de manière significative pour augmenter la production de CO de façon significative, les flammes ne sont pas tronquées par contact avec un autre objet, et la vitesse de combustion est commandée par la disponibilité du combustible.</p> <p>e Le rapport peut atteindre un ordre de grandeur supérieur pour des matériaux résistants au feu. Il n'y a pas d'augmentation significative dans ce rapport pour un rapport jusqu'à ≈ 0,75. Entre ≈ 0,75 et 1 une augmentation du rapport peut se produire.</p> <p>f La demande en oxygène du feu est limitée par la ou les ouvertures de ventilation; les flammes se propagent dans la couche supérieure.</p> <p>g Supposé être analogue aux flammes bien ventilées.</p> <p>h Le rapport d'équivalence de panache n'a pas été mesuré; l'utilisation d'un rapport d'équivalence global est inappropriée.</p> <p>i Des exemples de rapports plus faibles ont été mesurés. Généralement, ils résultent de combustion secondaire hors de portée de l'entrée d'air de la pièce.</p>								

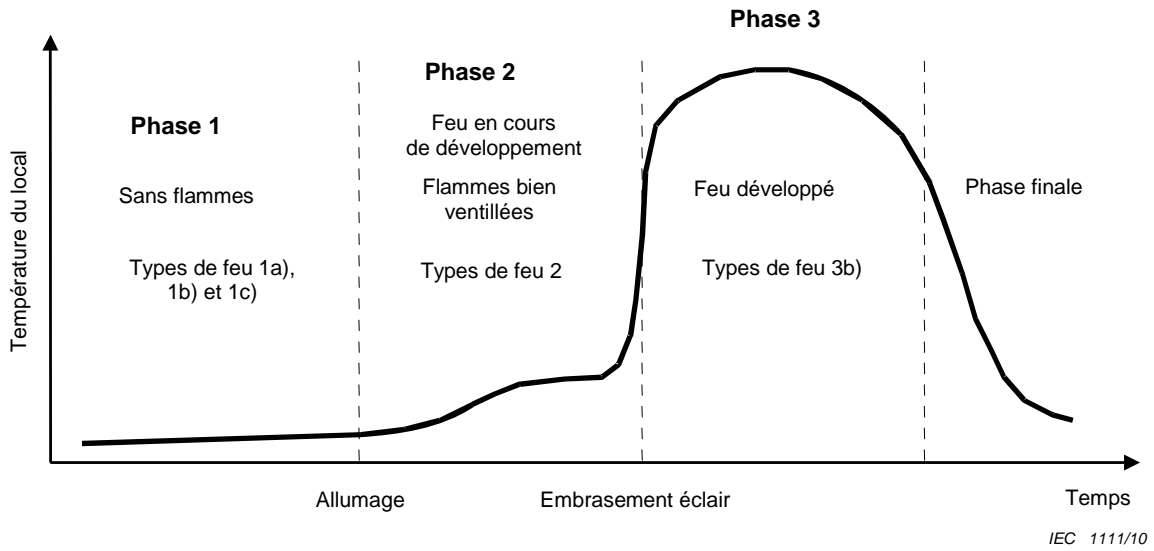
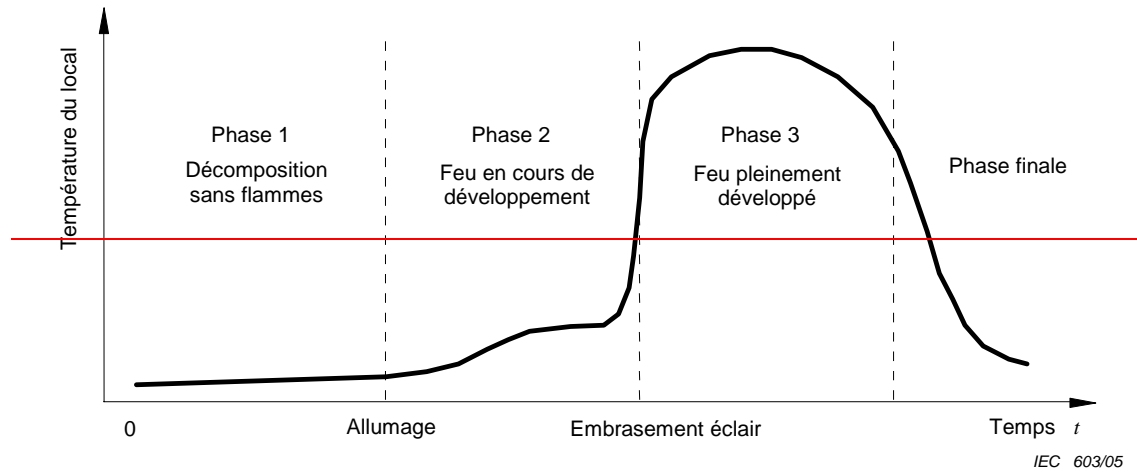


Figure 1 – **Diagramme représentant les** Différentes phases du développement d'un feu à l'intérieur d'un local

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 μm , 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.

4.2.4 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]³. 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 (m²).

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⁻¹)

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).

³ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

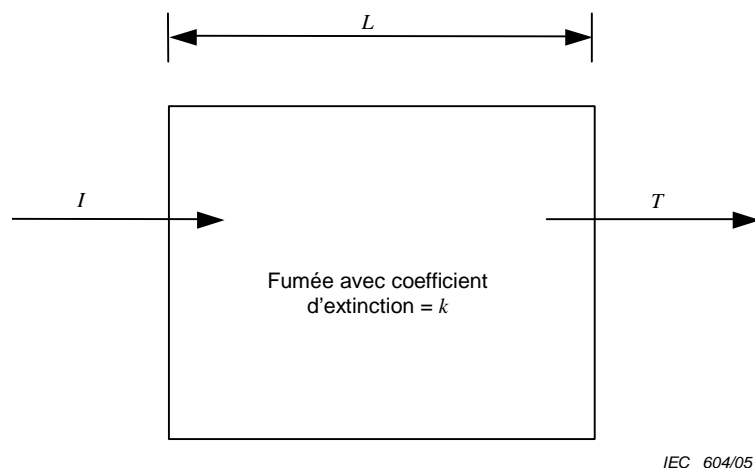


Figure 2 – Atténuation de la lumière par la fumée

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:

$$S = kV \quad (3)$$

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

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

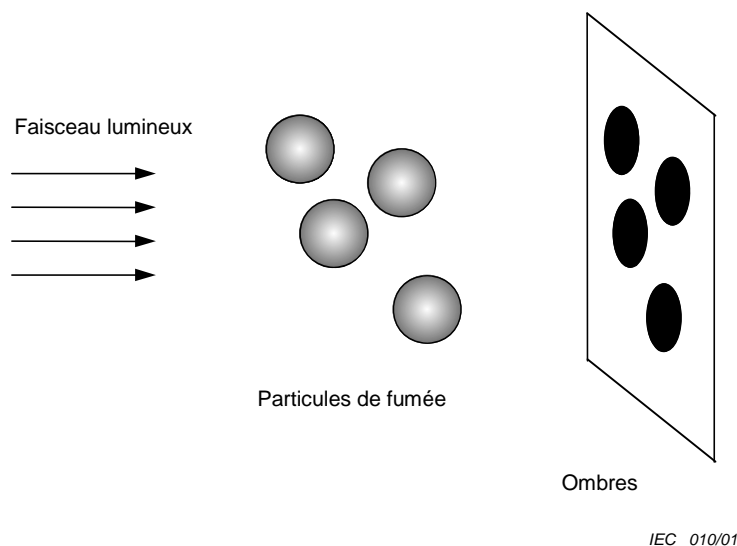


Figure 3 – Surface d'extinction

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, σ_f , peut être calculée:

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

où Δm est la perte de masse de l'éprouvette d'essai.

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

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

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 m². La valeur de la surface d'extinction spécifique, σ_f , sera par conséquent de 0,08 m²·g⁻¹. 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 m². La valeur de σ_f sera alors de 0,5 m²·g⁻¹.

Il est important de réaliser que σ_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 (Δm), 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 log₁₀, la variable équivalente à σ_f est appelée densité optique massique, (D_{mass}), et est reliée à σ_f comme suit:

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

D_{mass} est le rapport entre la surface et la masse et est exprimé, par exemple, en m² kg⁻¹.

Dans un système statique (voir 6.1):

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

où

D_{mass} est la densité optique massique;

D' est la densité optique;

V est le volume de la chambre;

Δm 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:

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

5.7 Visibilité

Si la constante de proportionnalité (γ) entre la visibilité (ω) 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).~~

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

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

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 $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

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 $(\text{m}^2/\text{s})/\text{m}^2$, c'est-à-dire s^{-1} .

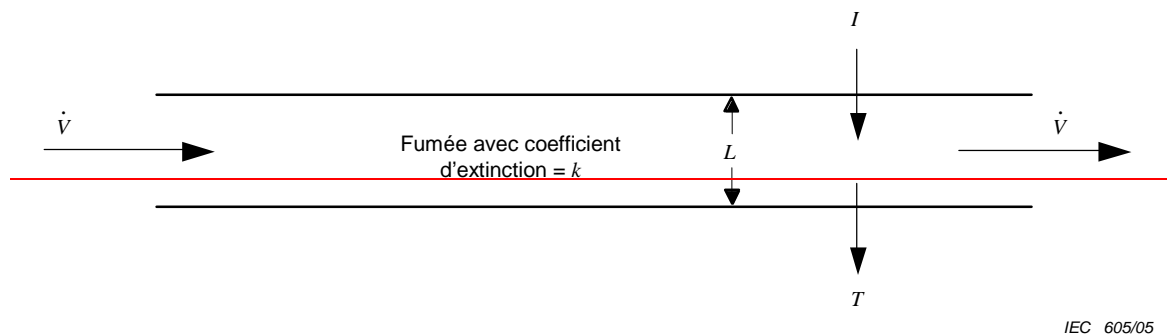


Figure 4 – Mesure dynamique de la fumée

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

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:

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

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 $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). 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.

6.1 Méthodes statiques

6.1.1 Principes

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.

6.1.2 Surface d'extinction

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, (I/T), du volume de l'enceinte, V , et de la longueur du faisceau lumineux, L .

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

Cette équation s'applique uniquement si la fumée est homogène. Les unités de surface d'extinction sont généralement les mètres carrés (m^2).

6.1.3 Densité optique spécifique

Dans certains essais, y compris la CEI 60695-6-30 et 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 la densité optique spécifique D_s .

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

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, il convient de considérer que l'épaisseur de l'éprouvette reste constante.

6.1.4 Prévision de la visibilité

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 fondant 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

6.2.1 Principes

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). Le débit de la fumée est mesuré à une position proche de celle où est mesurée l'opacité.

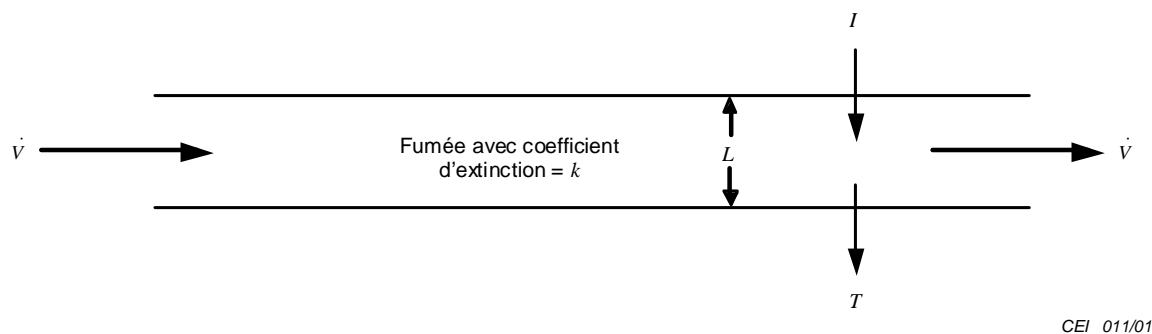


Figure 4 – Mesure dynamique de la fumée

6.2.2 Vitesse de production de fumée

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

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

où

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

\dot{S} représente une valeur en une unité surface/temps, par exemple, en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

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.

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

Lorsque la surface exposée de l'éprouvette d'essai utilisée est connue, comme dans l'ASTM E 1354 et l'ISO 5660, 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 $(\text{m}^2/\text{s})/\text{m}^2$, c'est-à-dire s^{-1} .

6.2.3 Production totale de fumée

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:

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

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 $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). 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.

6.2.4 Indice SMOGRA

SMOGRA est une abréviation pour *Smoke Growth Rate* correspondant à la vitesse de développement de la fumée. Les valeurs SMOGRA sont concernées tant par la vitesse de production de fumée que par le moment auquel est produite la fumée, et elles sont calculées à l'aide de la formule suivante:

$$\text{SMOGRA} = 10\,000 \times [\text{SPR}_{\text{av}}(t) / (t-t_0)] \quad (22)$$

où

$\text{SPR}_{\text{av}}(t)$ est la vitesse de production de fumée au temps t , et

t_0 est le moment auquel l'éprouvette d'essai est en premier lieu exposée à la flamme d'essai.

L'indice SMOGRA est défini comme la valeur maximale de la fonction pendant l'intervalle de temps de l'essai.

L'indice SMOGRA a été conçu lors de l'élaboration de l'EN 13823 correspondant à un essai de coin à échelle intermédiaire utilisé pour la réglementation des produits de construction en Europe. En tant que paramètre à une seule valeur à des fins réglementaires, certains considèrent que l'indice SMOGRA donne une meilleure indication de la sévérité de production de fumée que la valeur de production totale de fumée ou celle de la vitesse moyenne de production de fumée.

NOTE Dans la EN 13823, la valeur *SPR* (*Smoke Production Rate*, vitesse de production de fumée) est une moyenne mobile de 60 s, et le début d'exposition de l'éprouvette d'essai à la flamme d'essai se situe à $t = 300$ s.

La Figure 5 illustre un exemple de courbe SPR_{av} par rapport à t , et la Figure 6 illustre la courbe de SMOGRA issue de ces données. Le pic de la vitesse de production de fumée est $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à $t = 960$ s, et l'indice SMOGRA est de $8,2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ à $t = 857$ s.

L'indice SMOGRA peut être un paramètre utile pour l'évaluation des risques dus à la fumée parce qu'il combine la vitesse de production de fumée avec le temps écoulé pour l'atteindre. Il est à noter que l'indice SMOGRA se réfère toujours à un temps plus court que le temps de production de fumée maximale (dans les courbes données, 857 s par comparaison à 960 s).

Cependant, il convient de traiter l'indice SMOGRA avec une extrême précaution dans les cas où il existe une production de fumée précoce et rapide mais faible. Dans de tels cas, la valeur SMOGRA aux valeurs faibles $t-t_0$ peut être plus forte que les valeurs calculées à partir de la partie significative de la courbe et l'indice SMOGRA obtenu peut être à la fois dénué de pertinence et erroné.

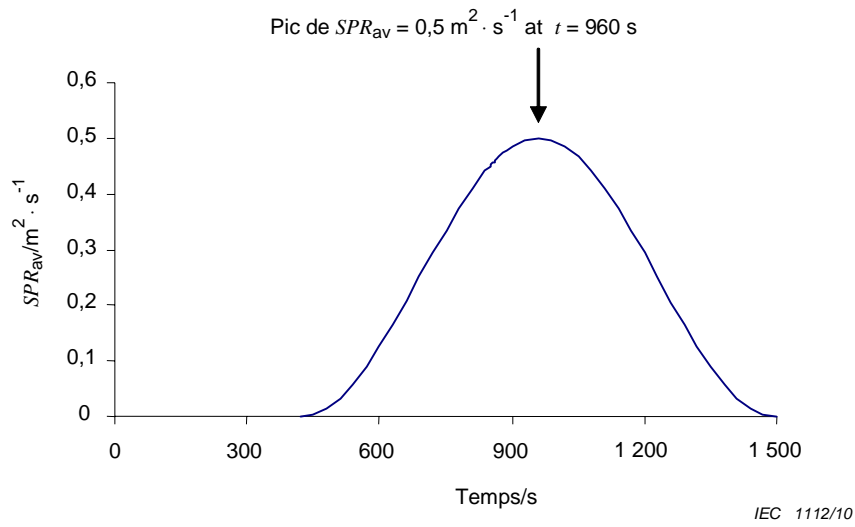


Figure 6 – Exemple de courbe SPR_{av} par rapport à t

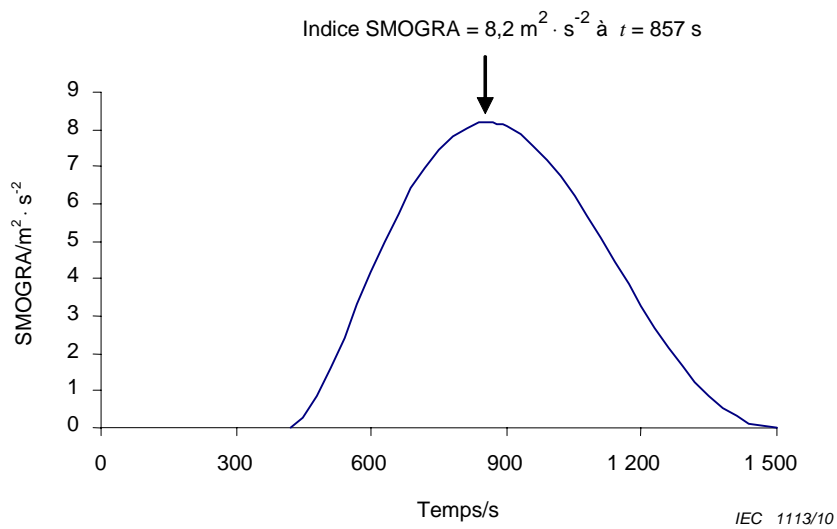


Figure 7 – Courbe SMOGRA issue de la Figure 6

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).

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.

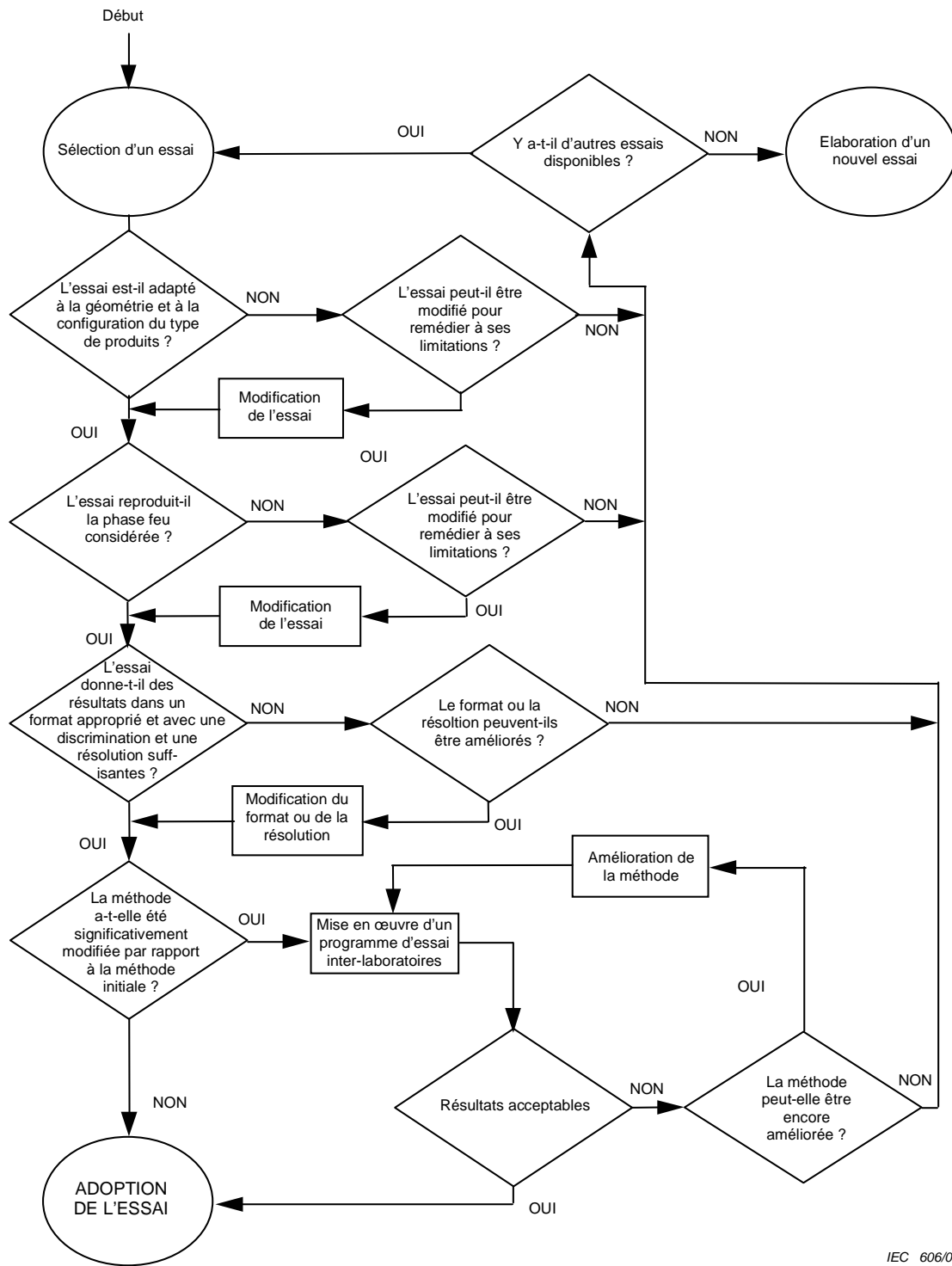
Beaucoup d'autres facteurs sont associés à la visibilité dans les voies de secours, par exemple:

- 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.



IEC 606/05

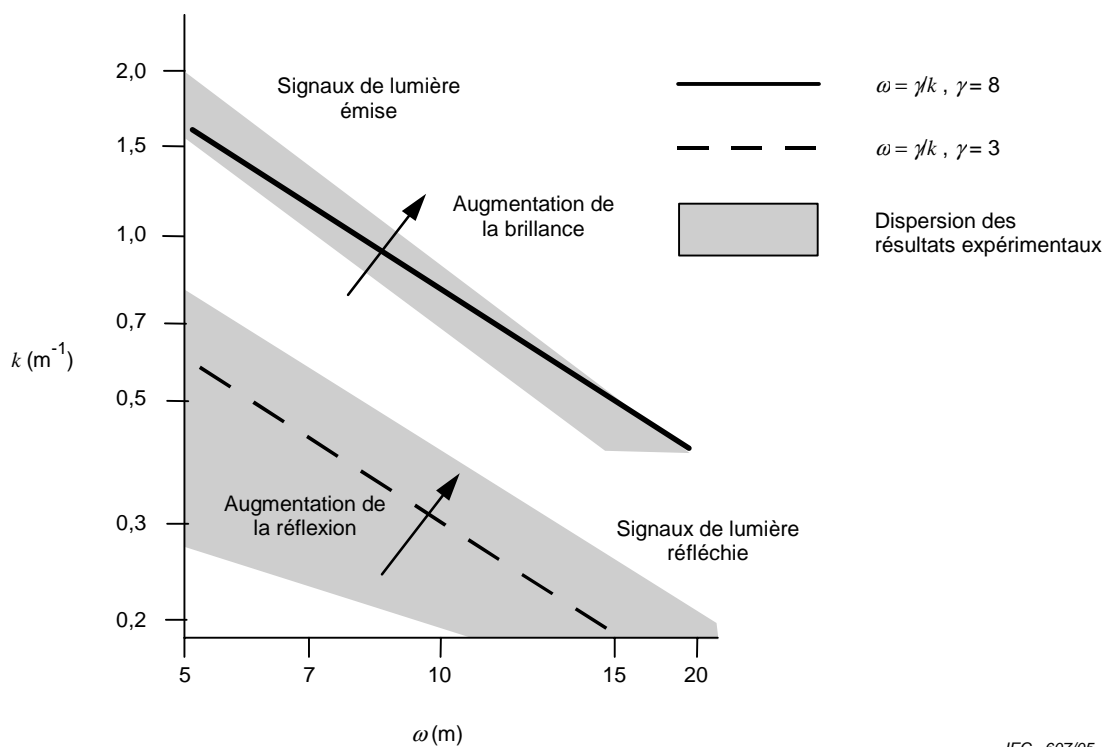
Figure 5 – Evaluation et considération des méthodes d’essais de fumée

Annexe A (informative)

Calcul de la visibilité

La Figure A.1 montre les relations, signalées par Jin [2], 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 $\omega = \gamma/k$, γ 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 γ égales respectivement à 3 et à 8 pour les signaux de lumière réfléchie et de lumière émise. Dans la BS DD240, Partie 1 [3], les valeurs retenues sont 2,30 et 5,76.



IEC 607/05

Figure A.1 – Visibilité (ω) 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.

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

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 [4], qui permet une extrapolation pour des conditions où l'air n'est pas obscurci.

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

Un calcul simple peut être effectué pour convertir la densité optique spécifique D_S , mesurée suivant la CEI 60695-6-30 et la CEI 60695-6-31, en surface d'extinction S .

Bien qu'une telle conversion puisse être utile pour comparer les données concernant l'obscurcissement par la fumée à l'aide des mêmes unités, il convient de prendre des précautions en faisant cette conversion, le calcul ne prenant pas en compte les différentes conditions d'essai d'une expérimentation à une autre (par exemple les facteurs géométriques des chambres d'essais).

Ainsi, il est recommandé qu'une mesure de D_S exprimée en termes de S , ne soit pas directement comparée avec une autre valeur de S , mesurée avec une autre méthode d'essai.

Pour une surface donnée d'une éprouvette d'essai, la densité optique spécifique, D_S , est directement proportionnelle à la surface d'extinction S . Dans le cas de la CEI 60695-6-30, la surface de l'éprouvette d'essai est de 0,004225 m² et

$$S = (0,00973 \text{ m}^2) D_S \quad (\text{B.1})$$

Le Tableau B.1 donne la relation entre la densité optique spécifique, le pourcentage de transmission et la surface d'extinction suivant la CEI 60695-6-30 et la CEI 60695-6-31.

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

D_s	Pourcentage de transmission %	Surface d'extinction, S m^2
450	0,04	4,38
400	0,09	3,89
350	0,22	3,41
300	0,53	2,92
250	1,28	2,43
200	3,05	1,95
150	7,31	1,46
100	17,48	0,97
75	27,03	0,73
50	41,80	0,49
30	59,26	0,29
20	70,55	0,19
15	76,98	0,15
10	83,99	0,10
5	91,65	0,05
0	100,00	0,00

La Figure B.1 donne une représentation visuelle utile des paramètres relatifs à la fumée cités dans le Tableau B.1.

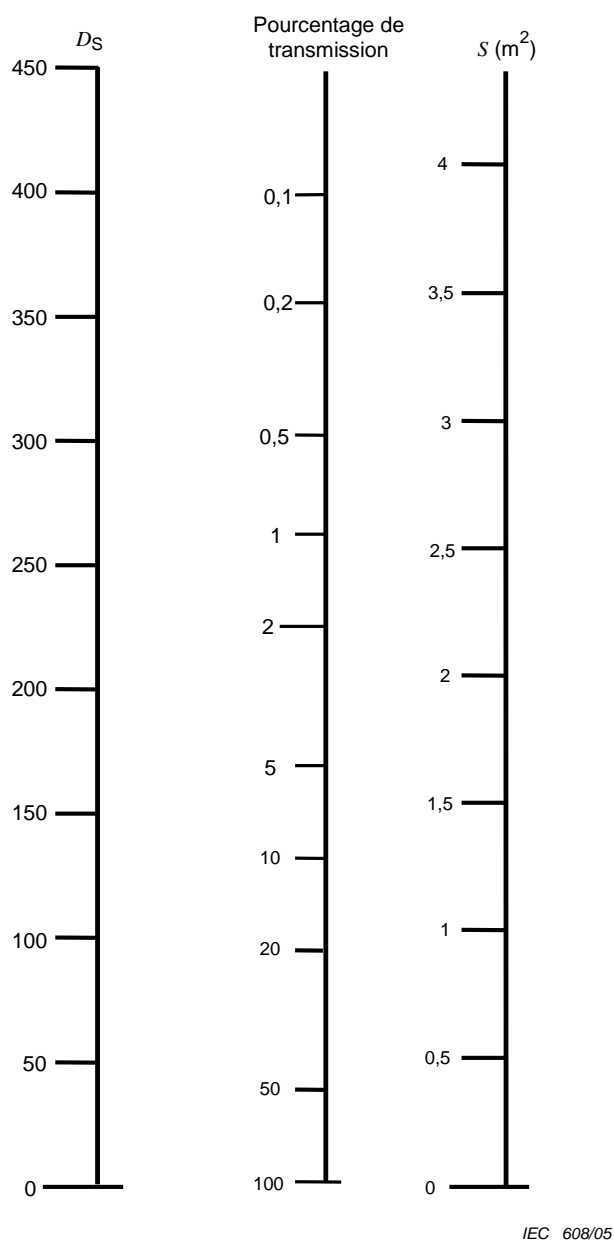


Figure B.1 – Paramètres relatifs à la fumée se rapportant à D_s , mesurés suivant la CEI 60695-6-30 et la CEI 60695-6-31

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

L'éprouvette d'essai est brûlée dans une enceinte cubique de 3 m de dimensions («three metre cube») et le pourcentage de lumière transmise est calculé à partir du rapport entre la lumière incidente et la lumière transmise (I/T). Cet essai est un essai statique de fumée.

L'essai spécifié dans la CEI 61034-1 [5] et la CEI 61034-2 [6] est une application spécifique de ce type d'essai aux câbles.

Le Tableau C.1 donne la conversion entre le pourcentage de transmission mesuré avec l'enceinte cubique («three metre cube») et la surface d'extinction.

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

Pourcentage de transmission	Quantité de fumée, S m^2
0,10	62,18
0,20	55,94
0,40	49,70
1,00	41,45
2,00	35,21
4,00	28,98
5,00	26,97
10,00	20,73
15,00	17,08
20,00	14,49
30,00	10,84
40,00	8,25
50,00	6,24
60,00	4,60
70,00	3,21
80,00	2,01
90,00	0,95
100,00	0,00

La Figure C.1 donne une représentation visuelle utile des paramètres relatifs à la fumée cités dans le Tableau C.1.

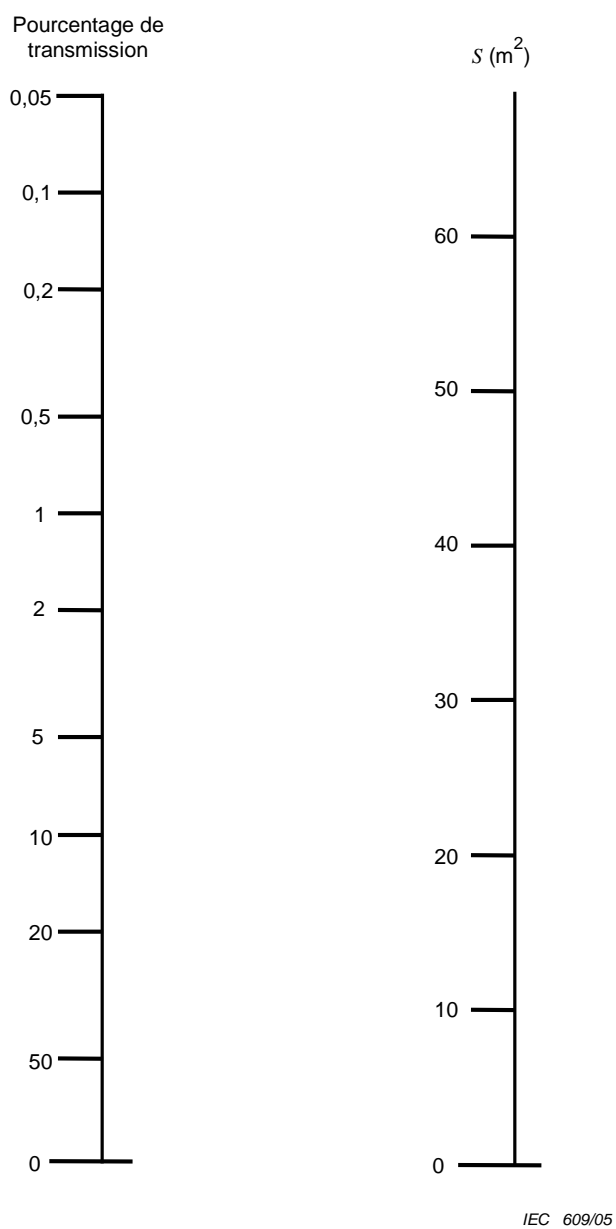


Figure C.1 – Rapport entre la surface d'extinction (quantité de fumée) et le pourcentage de transmission mesuré dans l'enceinte «three metre cube»

Bibliographie

- [1] ~~Mulholland, G. W., *Smoke production and properties. Section 2/15 in the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd edition, NFPA, USA (1995)~~
- Mulholland, G.W., *Smoke Production and Properties*, in the *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd edn., DiNenno, P.J. et al (Editors), NFPA, Quincy, MA, USA, 2002
- [2] ~~ASTM E1354: *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter* (1999)~~
- [2] Jin, T., *Visibility through fire smoke*, Journal of Fire and Flammability, 9, pp 135-157, April (1978)
- [3] BS DD240: *Fire safety engineering in buildings – Part 1: Guide to the application of fire safety engineering principles* (1997)
- [4] Webber, G. M. B., *Emergency wayfinding systems: their effectiveness in smoke*, Building Research Establishment Information Paper IP10 (1997)
- [5] CEI 61034-1:1997, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 1: Appareillage d'essai*
- [6] CEI 61034-2:1997, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 2: Procédure d'essai et prescriptions*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch