

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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 60695-6-2

Edition 1.0 2011-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 13.220.99; 29.020

ISBN 978-2-88912-625-5

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	7
4 Types of of test method	11
4.1 General	11
4.2 Physical fire model	11
4.3 Static test methods.....	11
4.4 Dynamic test methods	11
5 Types of test specimen	13
6 Published static test methods.....	13
6.1 General	13
6.2 Determination of smoke opacity in a 0,51 m ³ chamber.....	13
6.2.1 Standards which use a vertically oriented test specimen.....	13
6.2.2 Standard which uses a horizontally oriented test specimen.....	15
6.3 Determination of smoke density in a 27 m ³ smoke chamber.....	17
6.3.1 Standards.....	17
6.3.2 Purpose and principle	17
6.3.3 Test specimen	17
6.3.4 Method	17
6.3.5 Repeatability and reproducibility.....	18
6.3.6 Relevance of test data and special observations	18
6.4 Determination of specific optical density using a dual-chamber test.....	18
6.4.1 Standards.....	18
6.4.2 Purpose and principle	18
6.4.3 Test specimen	18
6.4.4 Method	19
6.4.5 Repeatability and reproducibility.....	19
6.4.6 Relevance of test data and special observations	19
7 Published dynamic test methods	19
7.1 General	19
7.2 Determination of smoke density generated by electric cables mounted on a horizontal ladder.....	19
7.2.1 Standards.....	19
7.2.2 Purpose and principle	19
7.2.3 Test specimen	19
7.2.4 Method	19
7.2.5 Repeatability and reproducibility.....	19
7.2.6 Relevance of test data and special observations	20
7.3 Determination of smoke generated by electrical cables mounted on a vertical ladder.....	20
7.3.1 Standards.....	20
7.3.2 prEN 50399	21
7.4 Determination of smoke using a cone calorimeter	22
7.4.1 Standards.....	22

7.4.2	Purpose and principle	22
7.4.3	Test specimen	22
7.4.4	Method	22
7.4.5	Repeatability and reproducibility	23
7.4.6	Relevance of test data and special observations	23
8	Overview of methods and relevance of data	24
Annex A (informative) Repeatability and reproducibility data – NBS smoke chamber – Interlaboratory tests from the French standard NF C20-902-1 and NF C20-902-2.....		27
Annex B (informative) Repeatability and reproducibility data – ISO 5659-2		28
Annex C (informative) Repeatability and reproducibility data – "Three metre cube" smoke chamber – French interlaboratory tests according to IEC 61034-2.....		30
Annex D (informative) Repeatability and reproducibility data – NFPA 262.....		31
Annex E (informative) Precision data of smoke measurement in ISO 5660-2.....		32
Bibliography		33
Table 1 – Characteristics of fire stages (ISO 19706)		12
Table 2 – Overview of smoke test methods.....		25
Table A.1 – Measurement of D_m		27
Table B.1 – Measurement of D_{s10}		28
Table B.2 – Test results for poly-carbonate.....		28
Table B.3 – Test results for PVC flooring		29
Table C.1 – Measurement of transmission expressed as a percentage		30
Table E.1 – Combinations of materials of upholstered furniture		32
Table E.2 – Repeatability and Reproducibility of specific extinction area (m^2/kg).....		32

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

**Part 6-2: Smoke obscuration –
Summary and relevance of test methods**

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.

International Standard IEC 60695-6-2 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This standard cancels and replaces IEC/TS 60695-6-2 published in 2005. This first edition constitutes a technical revision.

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

- this publication has been re-designated as an International Standard;
- updated normative references;
- updated terms and definitions;
- new test method Clause 7.3.2;
- numerous editorial changes of a technical nature throughout the publication.

This standard is to be used in conjunction with IEC 60695-6-1.

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

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

Enquiry draft	Report on voting
89/1057/FDIS	89/1071/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 60695 series, under the general title of *Fire hazard testing*, can be found on the IEC website.

Part 6 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: Guidance and test methods on the assessment of obscuration hazard of vision caused by smoke opacity from electrotechnical products involved in fires – Small scale static method – Determination of smoke opacity – Description of the apparatus

Part 6-31: Smoke obscuration – Small-scale static test – Materials

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the 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.

INTRODUCTION

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

Electrotechnical products, primarily as victims of 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.

This international standard describes smoke test methods in common use to assess the smoke release from electrotechnical products, or from materials used in electrotechnical products. It forms part of the IEC 60695-6 series which gives guidance to product committees wishing to incorporate test methods for smoke obscuration in product standards.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods

1 Scope

This part of IEC 60695 provides a summary of the test methods that are used in the assessment of smoke obscuration. It presents a brief summary of static and dynamic test methods in common use, either as international standards or national or industry standards. It includes special observations on their relevance to electrotechnical products and their materials and to fire scenarios, and it gives recommendations on their use.

This basic safety publication is intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications. The requirements, test methods or test conditions of this basic safety publication will not apply unless specifically referred to or included in the relevant 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 60695-6-1:2005, Fire hazard testing – Part 6-1: *Smoke obscuration – General guidance*

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

ISO/IEC 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 5725-2:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

ISO 19706:2007¹, *Guidelines for assessing the fire threat to people*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO/IEC 13943, some of which are reproduced below for users' convenience, apply.

3.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidising agent

¹ This publication cancels and replaces ISO 9122-1:1989, Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General.

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

[ISO/IEC 13943, definition 4.46]

3.2

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]

3.3

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]

3.4

fire

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

NOTE In the English language the term "fire" is used to designate three concepts, two of which, fire (3.5) and fire (3.6), 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]

3.5

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]

3.6

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]

3.7

fire effluent

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

[ISO/IEC 13943, definition 4.105]

3.8

fire hazard

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

[ISO/IEC 13943, definition 4.112]

3.9**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]

3.10**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]

3.11**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]

3.12**ignition****sustained ignition (deprecated)**

(general) initiation of combustion

[ISO/IEC 13943, definition 4.187]

3.13**ignition****sustained ignition (deprecated)**

(flaming combustion) initiation of sustained flame

[ISO/IEC 13943 definition 4.188]

3.14**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 ($\text{m}^2 \times \text{g}^{-1}$).

[ISO/IEC 13943, definition 4.225]

3.15**obscuration by smoke**

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

cf. **extinction area of smoke** (3.2) and **specific extinction area of smoke** (3.23).

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]

3.16

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** (3.24)

NOTE The optical density of smoke is dimensionless.

[ISO/IEC 13943, definition 4.244]

3.17

physical fire model

laboratory process, including the apparatus, the environment and the fire test procedure intended to represent a certain phase of a fire

[ISO/IEC 13943, definition 4.251]

3.18

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]

3.19

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]

3.20

smoke

visible part of fire effluent

[ISO/IEC 13943, definition 4.293]

3.21

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 ($\text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$).

[ISO/IEC 13943 definition 4.295]

3.22

smoke release rate

see **smoke production rate** (3.21)

3.23

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]

3.24

specific optical density of smoke

optical density of smoke multiplied by a geometric factor

NOTE 1 The geometric factor is $V/(A \cdot L)$, 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]

3.25

visibility

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

[ISO/IEC 13943 definition 4.350]

4 Types of of test method

4.1 General

Test methods are characterised by whether they are static or dynamic and/or by the nature of the test specimen.

4.2 Physical fire model

The amount and rate of smoke released from a given material or product is not an inherent property of that material or product, but is critically dependent on the conditions under which that material or product is burnt. Decomposition temperature, amount of ventilation and fuel composition are the main variables which affect the composition of fire effluent, and hence the amount of smoke and smoke production rate.

It is critical to show that the test conditions defined in a standardised test method (the physical fire model) are relevant to, and replicate the desired stage of a real fire. ISO has published a general classification of fire stages in ISO 19706, shown in Table 1. The important factors affecting smoke production are oxygen concentration and irradiance/temperature.

4.3 Static test methods

A static smoke test is one in which the smoke generated is allowed to accumulate within the test chamber. Some re-circulation and secondary combustion of smoke particles may occur. The obscuration by smoke may be affected by deposition, agglomeration, stirring and progressive oxygen depletion.

4.4 Dynamic test methods

A dynamic smoke test is one in which there is a continuous flow of fire effluent through the measuring device without re-circulation. In this test, the smoke particles generated are not allowed to accumulate and are dispersed in the controlled air flow through the test apparatus. Decay of the smoke can occur in a dynamic test, and may involve coagulation of particles and/or their deposition on cooling.

Table 1 – Characteristics of fire stages (ISO 19706)

Fire stages	Heat flux to fuel surface kW/m ²	Max. temperature °C		Oxygen volume %		Fuel/air equivalence ratio (plume)	$\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}$ v/v	$\frac{100 \times [\text{CO}_2]}{([\text{CO}_2] + [\text{CO}])}$ % 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
a The upper limit is lower than for well-ventilated flaming combustion of a given combustible. 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. 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. 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. 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. f The fire's oxygen demand is limited by the ventilation opening(s); the flames extend into the upper layer. g Assumed to be similar to well-ventilated flaming. h The plume equivalence ratio has not been measured; the use of a global equivalence ratio is inappropriate. i Instances of lower ratios have been measured. Generally, these result from secondary combustion outside the room vent.								

5 Types of test specimen

The test specimen may be a manufactured product, a component of a product, a simulated product (representative of a portion of a manufactured product), a basic material (solid or liquid), or a composite of materials.

6 Published static test methods

6.1 General

The static test methods reviewed below were selected on the basis that they are published international, national or industry standards, and are in common usage in the electrotechnical field. It is not intended to review all possible test methods.

NOTE These summaries are intended as a brief outline of the test methods, and should not be used in place of full published standards.

6.2 Determination of smoke opacity in a 0,51 m³ chamber

6.2.1 Standards which use a vertically oriented test specimen

6.2.1.1 Standards

Two international and four national standards are based on testing a vertically oriented test specimen in a single chamber of 0,51 m³ volume.

NOTE The chamber was developed in the USA by the National Bureau of Standards (now known as the National Institute of Standards and Technology) and is often referred to as the "NBS chamber".

These are: IEC/TR 60695-6-30 [1]² and IEC 60695-6-31 [2], ASTM E662 [3], BS 6401 [4], NF C20-902-1 [5] and NF C20-902-2 [6].

6.2.1.2 Purpose and principle

This small-scale fire test is used to assess the opacity of the smoke generated by a vertically oriented test specimen of material exposed to a specified thermal irradiance, with or without pilot flames, in a closed chamber 0,51 m³ in volume. The luminous flux through the smoke is continuously recorded.

6.2.1.3 Test specimen

The test specimen is a flat piece 76,2 mm × 76,2 mm, with a maximum thickness of 25,4 mm.

6.2.1.4 Method

The method employs an electrical radiant energy source mounted so as to produce a heat flux of 25 kW/m² on a vertically mounted test specimen. Two modes of test are commonly used:

- a) non-flaming, where only the radiant energy source is used, or
- b) flaming, where a small burner is used in addition to the radiant energy source. This burner produces a row of pilot flames along the lower edge of the test specimen, which ignite any combustion products.

A photometric system using polychromatic white light, with a vertical light path is used to measure the variation in light transmission during the test.

² Figures in square brackets refer to the Bibliography.

Results are expressed in terms of specific optical density, D_s , which is calculated using the following equation:

$$D_s = (V / AL) \log_{10}(I / T)$$

where

- V is the volume of smoke (i.e. the volume of the chamber);
- A is the exposed surface area of the test specimen;
- L is the path length of the light used to measure the smoke;
- I is the incident luminous flux;
- T is the transmitted luminous flux.

D_s is related to the extinction area of the smoke (S) by the equation:

$$D_s = S / [A \times \ln(10)]$$

i.e.

$$D_s = S / [2,303 \times A]$$

where S is the extinction area of smoke.

NOTE D_m is used instead of D_s in NF C20-902-1 & -2 (see A.1).

6.2.1.5 Repeatability and reproducibility

Repeatability and reproducibility have been determined in an interlaboratory trial, based on the French standards NF C20-902-1 and NF C20-902-2.

The results, presented in accordance with ISO 5725-2, are given in Annex A.

6.2.1.6 Relevance of test data and special observations

Test methods based on the NBS smoke chamber have been in worldwide use since about 1970, primarily for material evaluation purposes. However, these methods have now, in many cases, been superseded by ISO 5659-2 (see 6.2.2), which overcomes the following significant limitations of the NBS method:

- a) The heat flux is relatively low, and the air supply limited, which means that the method is only able to replicate conditions found in ISO 19706 fire stages 1 b) and, possibly, 2 (see Table 1).
- b) The test specimen is small, vertically mounted and is essentially flat, which limits the scope of the method to the evaluation of materials only, and excludes liquids and some thermoplastics. Test specimens which swell towards the furnace also give problems, as the incident heat flux experienced by the front of the test specimen increases significantly, and the pilot flames can be extinguished, rendering the test invalid.
- c) The limitations of the low heat flux and test specimen geometry mean that it is difficult to establish a link between data from the NBS chamber and other fire scenarios.

Further limitations of methods based on the NBS smoke chamber include the following:

- d) There is little or no correlation between data from this test, and the behaviour of products in fires or real-scale fire tests.
- e) There are no means of monitoring test specimen mass during the test.
- f) The air supply is limited and the test specimen ceases to burn if the oxygen concentration falls below approximately 14 %.
- g) The deposition of smoke on the walls is significant.

- h) The repeatability and reproducibility of the method have been studied several times and found to be very poor (see Annex A), and dependent on the nature of the material under test. Materials with high flow, excessive swelling or irreproducible ignitability produce less reliable results.

The method does however offer the useful option to evaluate smoke production from both flaming and non-flaming combustion, albeit at a low heat flux.

The data generated are not suitable for use as input to fire hazard assessment or for fire safety engineering.

Overall, this method is not recommended for further development for electrotechnical products. Neither is it recommended as the basis for regulation or other controls on smoke release for electrotechnical products, due to the limitations on the physical fire model and test specimen geometry.

6.2.2 Standard which uses a horizontally oriented test specimen

6.2.2.1 Standard

One International standard, ISO 5659-2 [7], is based on the following method:

6.2.2.2 Purpose and principle

This test is used to assess the opacity of the smoke generated by a horizontally oriented test specimen of material exposed to a specified thermal irradiance, with or without a pilot flame, in a closed chamber 0,51 m³ in volume. The luminous flux through the smoke is continuously measured and recorded.

NOTE This method uses essentially the same apparatus as described in 6.2.1, with the exception of modifications to the source of thermal irradiance and test specimen orientation.

6.2.2.3 Test specimen

The test specimen is a flat piece 75 mm × 75 mm with a maximum thickness of 25 mm.

6.2.2.4 Method

This test method employs an electrically heated conical radiant energy source to expose horizontally mounted test specimens to an incident flux of 25 kW/m² or 50 kW/m². The heat source consists of electrical windings contained within a truncated steel cone. The exposure can be in flaming mode or in non-flaming mode, depending on whether or not a pilot flame, consisting of a small gas burner, is used.

The test chamber is a closed chamber, 0,51 m³ in volume, and the smoke opacity is assessed by means of a photometric system, with a white light shining vertically through the chamber. The photodetector measures the decrease in light transmission due to the accumulation of smoke.

Test specimens are placed horizontally under the conical radiant heater with a distance of 25 mm between the surface of the test specimen and the lower edge of the heater. For test specimens which intumesce when exposed to the conical radiant heater, the distance should be increased to 50 mm. The heat flux applied to the test specimen is calibrated, prior to the tests, for the distance used.

The light transmission measurements are used to determine the specific optical density of smoke.

Optionally, the test specimen mass loss can also be monitored continuously during the test, by means of a load cell located under the test specimen. If the load cell is used, the mass optical density of smoke can also be determined.

Results are expressed in terms of specific optical density 10 min after the start of the test, D_{s10} , which is calculated using the following equation:

$$D_{s10} = (V / AL) \log_{10}(100 / T_{10})$$

where

V is the volume of smoke (i.e. the volume of the chamber);

A is the exposed surface area of the test specimen;

L is the path length of the light used to measure the smoke;

T_{10} is the percentage transmittance after 10 min;

D_{s10} is related to the extinction area of the smoke produced after 10 min, $S_{(t=10 \text{ min})}$, by the equation:

$$D_{s10} = S_{(t=10 \text{ min})} / [A \times \ln(10)], \text{ i.e.}$$

$$D_{s10} = S_{(t=10 \text{ min})} / [2,303 \times A]$$

Results can also be expressed in terms of mass optical density, D_{mass} , by the equation:

$$D_{mass} = [(V / L) \log_{10} (100 / T)] / \Delta m$$

where

T is the percentage transmittance;

Δm is the mass consumed.

The relationship between D_{mass} and the extinction area of the smoke is given by:

$$S = D_{mass} \Delta m \ln(10) = 2,303 D_{mass} \Delta m$$

6.2.2.5 Repeatability and reproducibility

An interlaboratory trial involving eight laboratories has been carried out during the development of ISO 5659-2. The results, presented in accordance with ISO 5725-2, are given in Table B.1 in Annex B.

An additional interlaboratory trial involving ten laboratories has been carried out for two intumescent plastics (polycarbonate and PVC flooring) using the test specimen-heater distance of 50 mm, during a revision of ISO 5659-2. The results, presented in accordance with ISO 5725-2, are given Table B.2 and Table B.3 in Annex B.

6.2.2.6 Relevance of test data and special observations

This method is based on the NBS smoke chamber method (see 6.1) and incorporates many useful enhancements:

- The test specimen is horizontally oriented, which allows for the evaluation of thermoplastics. With further development this method may be suitable for liquids. However, the method is still only suitable for essentially flat test specimens. Test specimens which swell will still move towards the heat source and experience non-standard heat fluxes.
- The maximum heat flux is increased to 50 kW/m², which means that the method can replicate ISO 19706 fire stage 3a), in addition to stages 1b) and 2 (see Table 1). This heat flux can also provide a greater discrimination between flame retardant materials.

- c) If mass loss rate data are recorded, they may be suitable for use as input to hazard assessment, or to calculate mass optical density. The data generated may be suitable for use as input to fire hazard assessment or fire safety engineering.
- d) A test method for intumescent materials is added.

The repeatability and reproducibility of the method have been found to be very variable, and dependent on the nature of the material under test. In particular, smoke generation is critically dependent on the ignition behaviour of the material under test.

This method is used as the basis for regulatory control by the IMO (International Maritime Organisation). It is not recommended as the basis for the regulatory control of electrotechnical products, unless the electrotechnical product to be tested falls within the limitations on test specimen geometry.

6.3 Determination of smoke density in a 27 m³ smoke chamber

6.3.1 Standards

Four international standards are based on a 27 m³ (3 m × 3 m × 3 m) smoke chamber. These are: IEC 61034-1 [8], IEC 61034-2 [9], EN 61034-1 [10], EN 61034-2 [11]. The chamber is often referred to as the “three metre cube”.

Two national standards use the “three metre cube” chamber. These are BS 6853 [12] and CEI 20-37-3 [13].

6.3.2 Purpose and principle

This test is used to assess the density of smoke generated by materials or products exposed to a combustion source with flame in a closed chamber. The luminous flux through the smoke is continuously measured and recorded.

6.3.3 Test specimen

The test specimen consists of horizontally oriented materials or products, typically 1 m long, positioned above the ignition source.

6.3.4 Method

The test method employs a pan of burning alcohol (one litre) as the flame source under the test specimen, within a closed chamber, 27 m³ in volume. The smoke density is measured by means of a photometric system, using a white light, shining horizontally across the chamber, at a height of 2,15 m. The photodetector measures the decrease in light transmission due to the accumulation of smoke. The light transmission measurements are used to assess the maximum obscuration achieved during the test. A fan is used throughout the test to homogenize the smoke and minimize stratification.

In some standards, percentage transmittance (% T) values are recorded, using the following formula:

$$\%T = 100 (T/I)$$

where

I is the incident luminous flux;

T is the transmitted luminous flux.

In some standards, primarily for cables, optical density values (referred to as A_m) are calculated using the following formula:

$$A_m = \log_{10} (I/T)$$

NOTE A_m is also incorrectly known in some standards as absorbance.

and results are reported in terms of a parameter A_0 :

$$A_0 = A_m V/nL$$

where

V is the volume of the chamber (27 m³);

L is the light path length (3 m);

n is the number of units of test specimen.

The extinction area of the smoke (S) can be calculated from A_m or A_0 as follows:

$$S = A_m V \ln(10) / L = 2,303 V / L$$

$$S = A_0 n \ln(10) = 2,303 A_0 n$$

6.3.5 Repeatability and reproducibility

Repeatability and reproducibility have been determined in an interlaboratory trial, based on IEC 61034-2.

The results, presented in accordance with ISO 5725-2, are given in Annex C.

6.3.6 Relevance of test data and special observations

This method was originally developed as the basis for the evaluation of smoke release from cables and other underground railway products. The fire scenario parameters (test chamber geometry, fire source and test specimen positioning) have been designed to be relevant to underground railways. The method is able to replicate the conditions of ISO 19706, fire stage 2 (see Table 1).

The optical system used is such that the method cannot discriminate between products with a smoke release which results in a light transmission through the chamber of less than 10 %. The data, as presented, are not suitable for use as direct input to quantitative fire hazard assessment or fire safety engineering, but with further processing may be suitable.

In some countries, this method is used as the basis for regulatory control.

This method is suitable for further development for other electrotechnical products, providing that the physical fire model is appropriate, and that the limitations on test specimen geometry and discrimination are acceptable.

6.4 Determination of specific optical density using a dual-chamber test

6.4.1 Standards

One international technical report, ISO/TR 5924 [14], is based on the following method.

6.4.2 Purpose and principle

This test is used to assess the opacity of smoke generated by materials or products subjected to a specified thermal irradiance in a closed dual chamber.

6.4.3 Test specimen

The test specimen measures 165 mm × 165 mm and has a maximum thickness of 70 mm.

6.4.4 Method

The test specimens are mounted horizontally in a decomposition chamber and exposed to a thermal irradiance of up to 60 kW/m². The smoke generated is collected in a second chamber and the opacity is measured.

6.4.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.4.6 Relevance of test data and special observations

This method is now little used, has essentially been superseded by ISO 5659-2, and is now regarded as obsolescent.

It is not recommended for further development.

7 Published dynamic test methods

7.1 General

The dynamic test methods reviewed below have been selected on the basis that they are published international, national or industry standards, and are in common usage in the electrotechnical field. It is not intended to review all possible test methods.

NOTE These summaries are intended as a brief outline of the test methods and should not be used in place of full published standards.

7.2 Determination of smoke density generated by electric cables mounted on a horizontal ladder

7.2.1 Standards

Several national and industry standards are based on the following method. For example, NFPA 262 [15], ULC S102.4 [16], and EN 50289-4-11 [17].

7.2.2 Purpose and principle

This test is used to assess the smoke obscuration generated by cables in a horizontal tunnel with induced draught.

7.2.3 Test specimen

Test specimens consist of cables in 7,32 m lengths installed in a single layer over the rungs of a cable ladder 286 mm wide.

7.2.4 Method

The test specimens are exposed, at one end of the ladder, to a 300 000 BTU/h (87,9 kW) flame for 20 min, inside a tunnel. A forced air flow is applied along the tunnel away from the ignition source. During the test, both the peak and average values of the optical density of the smoke are measured at the opposite end of the tunnel using a photo cell.

7.2.5 Repeatability and reproducibility

An interlaboratory trial involving five laboratories has been carried out to evaluate NFPA 262. The results are given in Annex D.

7.2.6 Relevance of test data and special observations

This method is used to simulate a specific fire scenario involving movement of environmental air with severe fire source and ventilation conditions.

The method is able to replicate ISO 19706, fire stage 3b (see Table 1).

This method is used to provide data for the regulatory control of some types of cables, in some countries.

7.3 Determination of smoke generated by electrical cables mounted on a vertical ladder

7.3.1 Standards

There are two north American vertical ladder standards that involve the measurement of smoke. These are ASTM D5424 [18] and UL 1685 [19].

7.3.1.1 Purpose and principle

Cables are mounted on a vertical ladder, which is enclosed in a chamber with a controlled air flow. Smoke obscuration is measured, and smoke release rate and total smoke release are calculated. In some cases, mass loss and heat release may also be measured.

7.3.1.2 Test specimens

Cables are mounted on a ladder in several configurations depending on the specified protocol.

7.3.1.3 Method

The ladder containing the cables is mounted vertically inside the enclosure, and optionally on a load cell.

The cable(s) is(are) exposed to a 20 kW flame for 20 min. The smoke obscuration is measured by a photoelectric cell located in the exhaust duct.

A smoke release rate (SRR) is calculated using the extinction coefficient in the duct and the volumetric flow rate.

7.3.1.4 Repeatability and reproducibility

No data are available.

7.3.1.5 Relevance of test data and special observations

These methods are adaptations of the standard cable industry tests for flame propagation, with instrumentation added to the exhaust duct to allow for the dynamic measurement of smoke.

Test specimens are linear, should be self-supporting and should normally be installed vertically in enclosed ducts.

The ventilation conditions and fire source are such that the test method is able to replicate ISO 19706, fire stage 2 (see Table 1).

This method is suitable for further development of electrotechnical products, providing that the installation environment of the products is appropriate, the limitations on the test specimen geometry is acceptable, and the physical fire model is suitable.

This method is used to provide data for the regulatory control of cables designated low smoke in the United States and Canada.

7.3.2 prEN 50399

7.3.2.1 Standards

There is a European vertical ladder standard that involves the measurement of smoke. This is prEN 50399 [20].

7.3.2.2 Purpose and principle

prEN 50399 specifies the test apparatus and test procedures for the assessment of the reaction to fire performance of cables. It was developed from the FIPEC research programme [21] in response to the European Construction Products Directive (CPD) [22] to enable classification under the CPD to be achieved.

The test method describes a real-scale fire test of cable samples mounted on a vertical cable ladder and is carried out with a specified ignition source to evaluate the burning behaviour of the cable. The test provides data for the early stages of a cable fire from ignition of cable samples. It addresses the hazard of propagation of flames along the cable, the potential, by the measurement of the heat release rate, for the fire to affect areas adjacent to the compartment of origin, and the hazard, by the measurement of production of light obstructing smoke, of reduced visibility in the room of origin and surrounding enclosures.

The following parameters, under defined conditions, may be determined during the test: flame spread, rate of heat release, total heat release, rate of smoke production, total smoke production, fire growth rate index, and the occurrence of flaming droplets/particles.

The apparatus is based upon that of EN 60332-3-10 but with changes to the mounting and airflow through the chamber and additional instrumentation to measure heat release and smoke production during the test.

NOTE 1 The mounting changes make comparison with EN 50266-1 tests impossible.

NOTE 2 The IEC standard which corresponds to EN 50266-1 is IEC 60332-3-10 [24].

prEN 50399 contains two protocols. In one protocol the flame ignition source has a nominal power of 20,5 kW. In the other protocol it has a nominal power of 30 kW.

There are three different classifications for smoke based on this test. They are based on the total smoke production and the peak rate of smoke production.

7.3.2.3 Test specimens

The test specimens are manufactured lengths of cables having a length of $(3,5 + 0,1 - 0,0)\text{m}$. The loading depends on the diameter of the cable. The spacing of the test specimens on the ladder also depends on the diameter of the cable.

7.3.2.4 Test method

The cables are mounted on the front of a vertical ladder in the test enclosure. The heat release rate is determined by measuring the oxygen concentration, the flow rate and the temperature in the exhaust duct, using the principle of oxygen consumption.

The airflow through the test chamber is $8,0 \text{ m}^3 \times \text{min}^{-1} \pm 0,8 \text{ m}^3 \times \text{min}^{-1}$.

The test flame is applied for 20 min, after which it is extinguished. The air flow through the test chamber is maintained for a further 30 s after which it is stopped.

7.3.2.5 Repeatability and reproducibility

CLC/TC20/Sec1576/INF [26] is a report of round-robin tests carried out in support of the development and finalisation of prEN 50399. The round-robin especially evaluated repeatability and reproducibility.

7.3.2.6 Relevance of test data

The test was developed in Europe in response to the European Construction Products Directive, and is required for four of the classes defined by the European Commission [25]. Test data allows member states of the EU to use, for the first time, a harmonized system for classifying the reaction to fire performance of cables used in buildings.

It has been demonstrated [21] that the utilization of these additional measurement techniques, proven for other standard tests, e.g. for building products, are appropriate for assessing the reaction to fire performance of electric cables. These techniques include heat release and smoke production measurements.

The test does not have the resolution to be able to differentiate products that produce very low levels of smoke. Such products are currently assessed using the 3 m cube – see 6.3.

7.4 Determination of smoke using a cone calorimeter

7.4.1 Standards

Two standards, one national and one international, are based on the following method. These are ASTM E1354 [27] and ISO 5660-2 [28].

7.4.2 Purpose and principle

This test is used to assess the smoke obscuration generated by test specimens exposed to a truncated cone heater, under conditions of high ventilation. The smoke produced is drawn through a duct where the extinction coefficient and volumetric flow rate are measured.

7.4.3 Test specimen

The test specimen is a flat piece, 100 mm × 100 mm, with a maximum thickness of 50 mm.

7.4.4 Method

The test specimen is exposed to a heat flux of up to 100 kW/m² from a conical heater and the combustion gases are ignited using a spark ignitor.

The cone calorimeter is a method which tests many parameters simultaneously. It measures smoke dynamically and uses horizontally oriented test specimens. The smoke is drawn from the burning area into a duct at a rate of 24 dm³/s where it is monitored using a helium neon laser and a twin silicon photo diode system. The smoke is reported as the specific extinction area (σ_f) which is calculated from the extinction coefficient, the volume flow rate and the rate of mass loss, using the equation

$$\sigma_f = k \dot{V} / \dot{m}$$

where

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

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

k is the extinction coefficient $[= (1/L) \ln(I/T)]$.

NOTE It is important to realise that σ_f does not give information on the rate of smoke production in a fire.

The rate of smoke production is given by:

$$\dot{S} = k \dot{V} = \sigma_f \dot{m}$$

The average specific extinction area of smoke ($\sigma_{f \text{ avg}}$) is then calculated as follows:

$$\sigma_{f \text{ avg}} = \left[\sum (\dot{V} k \Delta t) \right] / \Delta m = S / \Delta m$$

where

Δt is the time interval between data readings;

Δm is the mass consumed.

The total extinction area of smoke is given by:

$$S = \sum (\dot{V} k \Delta t)$$

The total extinction area of smoke produced is also given by:

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

and can be found by calculating the area under the $\dot{S}$ versus the time graph.

7.4.5 Repeatability and reproducibility

An interlaboratory trial involving seven laboratories was carried out during the development of ISO 5660-2. The results, presented in accordance with ISO 5725, are given in Annex E.

7.4.6 Relevance of test data and special observations

The cone calorimeter was originally developed to measure heat release by oxygen consumption, and is often modified with the provision of a laser system to allow for the dynamic measurement of smoke.

The cone calorimeter is widely used, primarily to generate data for fire modelling and hazard assessment, but has significant limitations which restrict its use as a test for electrotechnical products:

- a) the test specimen is small, and must be essentially flat;
- b) the test has unrestricted access of air to the test specimen, which limits the method to replicating ISO 19706, fire stages 1b) and 2 (see Table 1).

This method could provide the basis for further development as a method for electrotechnical products, provided that the test specimen geometry is essentially flat, and representative of end product use.

Data from this test should not be used in isolation as the basis for regulatory control of smoke release from electrotechnical products.

8 Overview of methods and relevance of data

The methods outlined in Clauses 6 and 7 are summarised in Table 2 below, in terms of limitations of the test method, and applicability to the fire stages defined in Table 1. Product committees intending to adopt or modify any of these test methods should ensure that the method is appropriate and suitable for the intended use.

Dynamic test methods generally provide test data in a format suitable for input to fire hazard assessment, or fire safety engineering.

NOTE These methods are based on a wide variety of physical fire models and test specimen geometries, which can have a major effect on the smoke obscuration generated from a material or product. Therefore it cannot be assumed that the rank ordering of smoke obscuration data from materials or products from one test will be the same as the rank ordering from another test.

In addition, there are many ways of expressing smoke obscuration data which means that the data from different methods cannot be directly compared, without further calculation.

Table 2 – Overview of smoke test methods

Type of test method	Test method and clause reference	Limitations on test specimen	Relevance to stage of fire						Limitations on use for regulatory purposes	Suitability of data format for input to fire safety engineering
			1(a)	1(b)	1(c)	2	3(a)	3(b)		
Static	6.2.1 Determination of smoke opacity in a 0,51 m ³ chamber using a vertically oriented test specimen	Essentially flat only, and less than 76,2 mm × 76,2 mm. Not suitable for liquids or some thermoplastics	No	Yes	No	Yes	No	No	Not recommended	No
	6.2.2 Determination of smoke opacity in a 0,51 m ³ chamber using a horizontally oriented test specimen	Essentially flat only, and less than 75 mm × 75 mm. Possibly suitable for products (see 6.2)	No	Yes	No	Yes	Yes	No	Should only be used for products with the appropriate geometry and for the relevant fire stage	Not as currently reported
	6.3 Determination of smoke opacity in a 27 m ³ smoke chamber	Materials or products (usually cables) approx. 1 m long	No	No	No	Yes	No	No	Should only be used for the relevant fire stage	Not as currently reported
	6.4 Determination of specific optical density using a dual-chamber test	165 mm × 165 mm, maximum thickness of 70 mm	No	Yes	No	Yes	No	No	Now regarded as obsolescent	Not as currently reported

Table 2 (*continued*)

Type of test method	Test method and clause reference	Limitations on test specimen	Relevance to stage of fire						Limitations on use for regulatory purposes	Suitability of data format for input to fire safety engineering
			1(a)	1(b)	1(c)	2	3(a)	3(b)		
Dynamic	7.2 Determination of smoke opacity generated by electric cables mounted on a horizontal ladder	Essentially flat building products or cables	No	No	No	No	No	Yes	Should only be used for products with the appropriate geometry and for the relevant fire stage	Yes
	7.3.1 Determination of smoke opacity generated by electrical cables mounted on a vertical ladder. ASTM D5424 and UL 1685.	Electrical or optical wires or cables.	No	No	No	Yes	No	Yes	Should only be used for electrical or optical wires or cables and for the relevant fire stage	Yes
	7.3.2 Determination of smoke opacity generated by electrical cables mounted on a vertical ladder. prEN 50399.	Electrical or optical wires or cables.	No	No	No	Yes	No	Yes	Should only be used for electrical or optical wires or cables and for the relevant fire stage	Yes
	7.4 Determination of smoke opacity using the cone calorimeter	Intended for essentially flat materials Possibly suitable for products (see 7.3)	No	Yes	No	Yes	No	Yes	Should only be used for products with the appropriate geometry and for the relevant fire stage	Yes
NOTE The suitability of data for fire safety engineering purposes is limited to applications where the test method is relevant to the appropriate stage of fire.										

Annex A (informative)

Repeatability and reproducibility data – NBS smoke chamber – Interlaboratory tests from the French standard NF C20-902-1 and NF C20-902-2

Four materials used for electrotechnical products, including three used in electric cables, were evaluated using 14 NBS smoke chambers, in accordance with the procedure described in the French standard NF C20-902-1 and NF C20-902-2.

The results of these tests related to the determination of D_m are summarised in the following table.

Table A.1 – Measurement of D_m

Mode of test	Parameter	Materials studied			
		Silicone	Chloro-sulphonated polyethylene	Ethylene vinyl acetate	Polyamide 6,6
Non-flaming	m	278	234	314	70
	r	43	113	42	11
	S_r	15	40	17	4
	R	67	287	81	41
	S_R	24	102	29	15
Flaming	m	211	624	259	84
	r	158	98	115	44
	S_r	56	85	41	16
	R	206	131	204	60
	S_R	74	68	73	21
m is the average specific optical density (D_m); r is the repeatability; S_r is the standard deviation of repeatability; R is the reproducibility; S_R is the standard deviation of reproducibility.					

Annex B (informative)

Repeatability and reproducibility data – ISO 5659-2

Table B.1 – Measurement of D_{s10}

Material	Thickness mm	Irradiance kW/m ²	Mean D_{s10}	Repeatability (within laboratory)		Reproducibility (between laboratories)	
				r	% of mean	R	% of mean
PMMA	1,0	25	11	4	38	10	91
		25 + pf ^a	55	13	24	29	53
		50	54	11	20	17	32
ABS	1,1	25	312	77	25	311	100
		25 + pf ^a	441	146	33	205	46
		50	435	102	23	192	44
Rigid polyurethane foam (28 kg/m ³)	25,0	25	49	16	32	61	124
		25 + pf ^a	48	24	51	26	54
		50	145	48	33	97	67
Flexible polyurethane foam (27 kg/m ³)	25,0	25	178	49	27	114	64
		25 + pf ^a	80	28	35	56	70
		50	127	46	36	80	63
Expanded polystyrene (non-fire retardant; 14 kg/m ³)	25,0	25	112	75	67	196	175
		25 + pf ^a	102	75	74	130	128
		50	270	88	33	195	72

^a + pf indicates a test carried out in mode 2 (i.e. with pilot flame).

Table B.2 – Test results for poly-carbonate

Test condition	Parameter	Average A	Repeatability r	r/A (%)	Reproducibility R	R/A (%)	Number of Laboratories
25 kW/m ² With pilot flame	D_{s10}	8,4	1,6	20,1	3,8	45,2	6
	D_{smax}	17,1	2,1	10,4	5,4	31,8	6
25 kW/m ² Without pilot flame	D_{s10}	8,7	1,2	15,9	2,5	28,4	5
	D_{smax}	22,2	1,8	8,1	3,7	16,7	6
50 kW/m ² Without pilot flame	D_{s10}	*	*	*	*	*	*
	D_{smax}	*	*	*	*	*	*

NOTE The distance between the test specimen and the heater was 50 mm

* Most of the laboratories reported that the D_{s10} and D_{smax} exceeded 500.

Table B.3 – Test results for PVC flooring

Test condition	Parameter	Average $\bar{A}$	Repeatability r	$r/\bar{A}$ (%)	Reproducibility R	$R/\bar{A}$ (%)	Number of laboratories
25 kW/m ² With pilot flame	$D_{s\ 10}$	260,8	47,8	18,8	74,7	28,6	9
	$D_{s\ max}$	296,0	57,9	20,1	96,3	32,5	9
25 kW/m ² Without pilot flame	$D_{s\ 10}$	472,6	41,6	9,8	124,0	26,2	9
	$D_{s\ max}$	504,0	22,7	4,8	101,9	20,2	9
50 kW/m ² Without pilot flame	$D_{s\ 10}$	376,6	26,8	6,8	110,4	29,3	8
	$D_{s\ max}$	491,6	28,7	6,0	95,9	19,5	8
NOTE The distance between the test specimen and the heater was 50 mm.							

Annex C (informative)

Repeatability and reproducibility data – "Three metre cube" smoke chamber – French interlaboratory tests according to IEC 61034-2

Three types of cables were evaluated by seven laboratories using the "three metre cube" chamber in accordance with the procedure described in the first edition of IEC 61034-2 (1991).

The results of these tests, related to the determination of the percentage transmission of light through the smoke, are summarized in Table C.1.

Table C.1 – Measurement of transmission expressed as a percentage

Mode of test	Parameter	Cable type studied		
		Flexible cable	Armoured cable	Optical fibre cable
		%	%	%
C	m	77	81	81
	r	9	9	7
	S_r	3	3	3
	R	15	16	13
	S_R	4	6	4
m is the average percentage transmission value; r is the repeatability; S_r is the standard deviation of repeatability; R is the reproducibility; S_R is the standard deviation of reproducibility.				

NOTE This interlaboratory test was carried out using the first edition of IEC 61034-2. Some technical improvements are described in the second and third editions.

Annex D (informative)

Repeatability and reproducibility data – NFPA 262

Five laboratories were involved in this international interlaboratory test [29].

In this test method the smoke measurement system is calibrated with neutral density filters in the range 0,1 to 1,0. The measured optical density is required to have a linear response with respect to the neutral density filters with a regression coefficient of at least 0,99. The optical density results are reported with a precision of 0,01.

The method used to determine the repeatability and reproducibility was ISO 5725.

The average value (m), repeatability (r), and reproducibility (R), were calculated for each of six cable test specimens.

Peak Optical Density			
Cable	m	r	R
1	0,24	0,14	0,16
2	0,33	0,12	0,18
3	0,32	0,07	0,16
4	0,32	0,10	0,13
5	0,34	0,12	0,33
6	0,18	0,12	0,17

Average Optical Density			
Cable	m	r	R
1	0,09	0,05	0,07
2	0,09	0,02	0,02
3	0,13	0,04	0,04
4	0,11	0,01	0,02
5	0,15	0,02	0,07
6	0,07	0,04	0,05

Annex E (informative)

Precision data of smoke measurement in ISO 5660-2

A series of interlaboratory tests for ISO 5660 was carried out, among seven laboratories, on five test specimens simulating upholstered furniture composites in the European fire research programme project of CBUF (Combustion Behaviour of Upholstered Furniture). In these tests, specific extinction area ($\text{m}^2 \times \text{kg}^{-1}$), which is based on the measurement of extinction coefficient of smoke and mass loss of test specimen during the tests, was obtained by the method in ISO 5660-2 in addition to heat release data. The results of the interlaboratory tests give precision data on the smoke generation measurement method in ISO 5660-2.

Table E.1 presents the contents of the test specimens which are a combination of materials of upholstered furniture.

Table E.1 – Combinations of materials of upholstered furniture

Ref. No.	Materials
1	Back-coated acrylic fabric, $546 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, non-fire retarded high resilient polyurethane foam, $21 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
2	Fire retarded cotton fabric $422 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, combustion modified high resilient foam, $30 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
3	Polypropylene fabric, $264 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, non-fire retarded polyurethane foam, $21 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
4	Wool fabric, $432 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, combustion modified high resilient foam, $30 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
5	Same as combination 1 but includes Kevlar interliner, $65 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$

Table E.2 presents the data for repeatability (r) and reproducibility (R) as well as average value (m). The analysis was carried out according to ISO 5725:1986 which was valid when the tests were conducted.

Table E.2 – Repeatability and Reproducibility of specific extinction area (m^2/kg)

Reference number	Number of laboratories	m	r	R
1	6	399	93	366
2	5	108	60	76
3	6	499	91	112
4	6	241	27	56
5	5	341	93	333

A linear regression model specified in ISO 5725:XXXX (equation II) is used to describe r and R as function of the mean. The following equations are obtained from the data in Table E.2.

$$r = 28,83 + 0,14m \quad (\text{E.1})$$

$$R = 15,03 + 0,56m \quad (\text{E.2})$$

Bibliography

- [1] IEC/TR 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*
- [2] IEC 60695-6-31, *Fire hazard testing – Part 6-31: Smoke obscuration – Small scale static test – Materials*
- [3] ASTM E662, *Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*
- [4] BS 6401, *Method for measurement, in the laboratory, of the specific optical density of smoke generated by materials*
- [5] NF C20-902-1, *Fire hazard testing – Test methods – Determination of smoke opacity without air change – Part 1: Methodology and test devices*
- [6] NF C20-902-2, *Fire hazard testing – Test methods – Determination of smoke opacity without air change – Part 2: Test methods for materials used in electric cables and in optical fibre cables*
- [7] ISO 5659-2, *Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test*
- [8] IEC 61034-1, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus*
- [9] IEC 61034-2, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements*
- [10] EN 61034-1, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions. Test apparatus*
- [11] EN 61034-2, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions. Test procedure and requirements*
- [12] BS 6853, *Code of practice for fire precautions in design and construction of passenger carrying trains*
- [13] CEI 20-37-3, *Tests on gases evolved during the combustion of electrical cables – Part 3: Measurements of smoke density of electrical cable and material burned under defined conditions (A + B methods)*
- [14] ISO/TR 5924, *Fire tests – Reaction to fire – Smoke generated by building products (dual-chamber test)*
- [15] NFPA 262, *Standard method of test for flame travel and smoke of wires and cables for use in air-handling spaces*
- [16] ULC S102.4, *Test for fire and smoke characteristics of electrical wiring and cables*
- [17] EN 50289-4-11, *Communication cables – Specifications for test methods – Part 4-11: Environmental test methods – A horizontal integrated fire test method*

- [18] ASTM D5424, *Standard test method for smoke obscuration of insulating materials contained in electrical or optical fibre cables when burning in a vertical cable tray configuration*
 - [19] UL 1685, *Vertical-tray fire-propagation and smoke-release test for electrical and optical-fibre cables*
 - [20] EN 50399, *Common test methods for cables under fire conditions – Heat release and smoke production measurement on cables during flame spread test – Apparatus, procedures, results* (to be published)
 - [21] *Fire Performance of Electrical Cables, Final report on the European Commission SMT programme sponsored research project SMT4-CT96-2059*, Interscience Communications Limited 2000, ISBN 09532312 5 9
 - [22] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988, *The Construction Products Directive*
 - [24] IEC 60332-3-10, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus*
 - [25] European Commission Decision 2006/751/EC
 - [26] European Committee for Electrotechnical Standardization [CENELEC], Technical Committee 20: Electric Cables, “prEN 50399 – Round-Robin evaluation”, TC20/Sec1576/INF, June 2008
 - [27] ASTM E1354, *Standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter*
 - [28] ISO 5660-2, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement)*
 - [29] FPRF (Fire Protection Research Foundation), Batterymarch Park, Quincy Mass. USA. “International NFPA 262 Fire Test Harmonization Project”
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	38
INTRODUCTION.....	40
1 Domaine d'application.....	41
2 Références normatives	41
3 Termes et définitions	42
4 Types de méthode d'essai	45
4.1 Généralités.....	45
4.2 Modèle physique du feu	45
4.3 Méthodes d'essai statique.....	46
4.4 Méthodes d'essai dynamique	46
5 Types d'éprouvettes.....	48
6 Méthodes d'essais statiques publiées	48
6.1 Généralités.....	48
6.2 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre de 0,51 m ³	48
6.2.1 Normes utilisant une éprouvette de matériau exposée verticalement	48
6.2.2 Normes utilisant une éprouvette de matériau exposée horizontalement	50
6.3 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre à fumée de 27 m ³	52
6.3.1 Normes.....	52
6.3.2 But et principe	52
6.3.3 Epreuve	52
6.3.4 Méthode	52
6.3.5 Répétabilité et reproductibilité	53
6.3.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières.....	53
6.4 Détermination de la densité optique spécifique avec un dispositif d'essai à chambre double	54
6.4.1 Normes.....	54
6.4.2 But et principe	54
6.4.3 Epreuve	54
6.4.4 Méthode	54
6.4.5 Répétabilité et reproductibilité	54
6.4.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières.....	54
7 Méthodes d'essais dynamiques publiées	54
7.1 Généralités.....	54
7.2 Détermination de la densité de la fumée dégagée par des câbles électriques montés sur une échelle horizontale	54
7.2.1 Normes.....	54
7.2.2 But et principe	54
7.2.3 Epreuve	55
7.2.4 Méthode	55
7.2.5 Répétabilité et reproductibilité	55
7.2.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières.....	55
7.3 Détermination de la fumée générée par des câbles électriques montés sur une échelle verticale.....	55
7.3.1 Normes.....	55
7.3.2 prEN 50399	56
7.4 Détermination de la fumée en utilisant un cône calorimètre	57
7.4.1 Normes.....	57

7.4.2	But et principe	57
7.4.3	Eprouvette	58
7.4.4	Méthode	58
7.4.5	Répétabilité et reproductibilité	59
7.4.6	Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières.....	59
8	Vue d'ensemble des méthodes et relations entre les résultats	59
Annexe A (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – Chambre NBS – Essais interlaboratoires fondés sur les normes françaises NF C 20-902-1 et NF C 20-902-2		62
Annexe B (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – ISO 5659-2		63
Annexe C (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – Chambre de "trois mètres au cube" – Essais interlaboratoires français selon la CEI 61034-2		65
Annexe D (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – NFPA 262		66
Annexe E (informative) Données de précision de la mesure de la fumée de l'ISO 5660-2.....		67
Bibliographie		68
Tableau 1 – Caractéristiques des étapes de feu (ISO 19706).....		47
Tableau 2 – Vue d'ensemble des méthodes d'essais de fumée		60
Tableau A.1 – Valeurs de D_m		62
Tableau B.1 – Valeurs de D_{s10}		63
Tableau B.2 – Résultats d'essai pour le polycarbonate		63
Tableau B.3 – Résultats d'essai pour les revêtements de sol en PVC		64
Tableau C.1 – Valeurs du flux lumineux transmis en pourcentage.....		65
Tableau E.1 – Combinaisons de matériaux de meubles rembourrés.....		67
Tableau E.2 – Répétabilité et reproductibilité de la surface spécifique d'extinction (m^2/kg)		67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60695-6-2 a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette norme annule et remplace la CEI/TS 60695-6-2 publiée en 2005. Cette première édition constitue une révision technique.

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

- Cette publication a été reprise pour devenir une norme internationale;
- mise à jour des références normatives;
- mise à jour de termes et définitions;
- nouvelle méthode d'essai Article 7.3.2;

- nombreuses modifications rédactionnelles de nature technique dans toute la publication.

La présente norme doit être utilisée conjointement avec la CEI 60695-6-1.

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

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/1057/FDIS	89/1071/RVD

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

Cette publication a été rédigée conformément aux spécifications des Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60695, regroupées sous le titre général Essais relatifs aux risques du feu, peut être consultée sur le site web de la CEI.

La partie 6 comprend les parties suivantes:

Partie 6-1: Opacité des fumées – Guide général

Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

Partie 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

Partie 6-31: Opacité des fumées – Méthode statique à petite échelle – Matériaux

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de 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.

INTRODUCTION

Il est nécessaire que le risque d'incendie soit envisagé pour tout circuit électrique, et l'objectif lors de la conception des composants, des circuits et des équipements ainsi que le choix des matériaux est de réduire la probabilité d'incendie, même dans le cas d'une utilisation anormale prévisible, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance.

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

La présente norme internationale décrit des méthodes d'essais de mesure de la fumée, communément utilisées pour évaluer les fumées émises par les produits électrotechniques ou les matériaux utilisés dans les produits électrotechniques. Elle fait partie de la série CEI 60695-6, qui donne des indications aux comités de produits désirant incorporer des méthodes d'essais sur l'obscurcissement par la fumée dans les normes de produit.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 6-2: Opacité des fumées – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60695 donne un résumé des méthodes d'essais qui sont utilisées pour évaluer l'obscurcissement par la fumée. Elle présente un bref résumé des méthodes d'essais dynamiques et statiques communément utilisées, aussi bien comme normes internationales ou nationales ou normes industrielles. Elle inclut des observations particulières relatives à un scénario feu, pour les produits électrotechniques et leurs matériaux, et donne des recommandations pour leurs utilisations.

Cette publication fondamentale de sécurité est destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes conformément aux principes exposés dans le guide 104 de la CEI et dans le guide ISO/CEI 51.

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. Les exigences, méthodes d'essai ou conditions d'essai de cette publication fondamentale de sécurité ne s'appliquent pas sauf si elles sont spécifiquement citées en référence ou incluses dans les publications correspondantes.

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 60695-6-1:2005, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales*

Guide CEI 104:, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications* (disponible en anglais seulement)

ISO/CEI 13943:2008, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

ISO 5725-2:1994, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 2: Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée*

ISO 19706:2007³, *Lignes directrices pour l'évaluation des dangers du feu pour les personnes*

³ Cette publication annule et remplace l'ISO 9122-1:1989. Essai de toxicité d'effluents du feu – Partie 1 : Généralités

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions issus de l'ISO/CEI 13943, dont certains sont repris ci-dessous par commodité pour l'utilisateur, s'appliquent.

3.1

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]

3.2

surface d'extinction de la fumée

produit du volume occupé par la fumée par 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 (m^2).

[ISO/CEI 13943, définition 4.92]

3.3

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]

3.4

feu

(général) processus de combustion caractérisée par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagnée 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 notions, dont deux: *fire* (feu) (3.5) et *fire* (incendie) (3.6), se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenu ayant des significations diverses et deux sont désignés par deux termes différents tant en français qu'en allemand.

[ISO/CEI 13943, définition 4.96]

3.5

feu

(contrôlé) combustion autoentretenu 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]

3.6

incendie

(non contrôlé) combustion autoentretenu qui n'a pas 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]

3.7

effluents du feu

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.105]

3.8

danger d'incendie

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.112]

3.9

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]

3.10

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 déclin du feu, ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[ISO/CEI 13943, définition 4.129]

3.11

flux de chaleur

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

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.173]

3.12

allumage

allumage persistant (déconseillé)

(général) amorçage de la combustion

[ISO/CEI 13943, définition 4.187]

3.13

allumage

allumage persistant (déconseillé)

(combustion avec flamme) déclenchement d'une flamme persistante

[ISO/CEI 13943, définition 4.188]

3.14

densité optique massique de la fumée

densité optique de 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 est la longueur du trajet optique

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.225]

3.15

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** (3.2) et **surface spécifique d'extinction de la fumée** (3.23).

NOTE 1 En pratique, l'obscurcissement par la fumée est habituellement 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]

3.16

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

voir. **densité optique spécifique de la fumée** (3.24)

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.244]

3.17

modèle physique du feu

Procédé de laboratoire, incluant l'appareillage, l'environnement et le mode opératoire d'essai au feu, destiné à représenter une certaine étape d'un incendie

[ISO/CEI 13943, définition 4.251]

3.18

essai au feu en grandeur réelle

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

NOTE Cet essai 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]

3.19

essai au feu à petite échelle

un essai au feu effectué sur une éprouvette d'essais 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]

3.20

fumée

partie visible des effluents du feu

[ISO/CEI 13943, définition 4.293]

3.21

taux de dégagement de fumée

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

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

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.295]

3.22

vitesse de dégagement de fumée

voir "**taux de dégagement de fumée**"(3.21)

3.23

surface spécifique d'extinction de la fumée

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

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.301]

3.24

densité optique spécifique de la fumée

densité optique de fumée multipliée par un coefficient géométrique

NOTE 1 Le coefficient géométrique est $V/(A \times L)$, 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]

3.25

visibilité

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

[ISO/CEI 13943, définition 4.350]

4 Types de méthode d'essai

4.1 Généralités

La méthode d'essai est définie selon qu'il s'agit d'une méthode statique ou dynamique, et/ou selon la nature de l'éprouvette.

4.2 Modèle physique du feu

La quantité et la vitesse de dégagement de fumée pour un matériau ou un produit donné n'est pas une propriété inhérente au matériau ou au produit, mais elle dépend étroitement de la façon dont le matériau ou le produit est brûlé. La température de décomposition, l'importance de la ventilation et la composition du combustible sont les variables principales qui affectent les effluents du feu, et donc la quantité et la vitesse de production de fumée.

Il est impératif de montrer que les conditions d'essai définies dans une méthode d'essai normalisée (modèle physique du feu) sont en relation avec un feu réel, et en reproduisent le stade désiré. L'ISO a publié une classification générale des étapes du feu dans l'ISO 19706 comme indiqué dans le Tableau 1 ci-après. Les facteurs importants affectant la production de fumée sont la concentration en oxygène et l'éclairement/température.

4.3 Méthodes d'essai statique

Un essai statique de fumée est un essai dans lequel la fumée produite s'accumule dans la chambre d'essai. Une recirculation et une combustion secondaire des particules de fumée peuvent se produire. L'obscurcissement par la fumée peut être modifié par le dépôt, l'agglomération, l'agitation des particules de fumée et par la réduction progressive de la concentration de l'oxygène.

4.4 Méthodes d'essai dynamique

Un essai dynamique de fumée est un essai dans lequel un courant continu d'effluents du feu passe au travers du système de mesure sans recirculation. Dans ce type d'essai, les particules de fumée ne peuvent pas s'accumuler, elles sont dispersées dans le courant d'air contrôlé au travers de l'appareillage d'essai. Une diminution de la quantité de fumée peut se produire pendant un essai dynamique et peut entraîner la coagulation des particules et/ou leur dépôt sur des surfaces froides.

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

Étapes de feu	Éclairement 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	entraînée	évacuée			
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 anaérobique 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 ⁱ	70 à 90
a La limite supérieure est inférieure à la combustion avec flamme bien ventilée d'un combustible donné.								
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.								
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.								
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.								
e Le rapport peut atteindre un ordre de grandeur supérieur pour des matériaux résistant 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.								
f La demande en oxygène du feu est limitée par la(les) ouverture(s) de ventilation; les flammes se propagent dans la couche supérieure.								
g Supposé être analogue aux flammes bien ventilées.								
h Le rapport d'équivalence de panache n'a pas été mesuré; l'utilisation d'un rapport d'équivalence global est inappropriée.								
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.								

5 Types d'éprouvettes

L'éprouvette peut être un produit manufacturé, un composant d'un produit, un produit simulé (représentant une partie d'un produit manufacturé), un matériau de base (solide ou liquide) ou un composite de plusieurs matériaux.

6 Méthodes d'essais statiques publiées

6.1 Généralités

Les méthodes d'essais statiques résumées ci-dessous ont été sélectionnées parce qu'elles sont normalisées au niveau international, national ou sont employées dans l'industrie, et parce qu'elles sont habituellement utilisées dans le domaine de l'électrotechnique. L'intention n'est pas de passer en revue toutes les méthodes d'essais possibles.

NOTE Ces résumés donnent une brève description des méthodes d'essais, et il convient de ne pas les utiliser en lieu et place des normes complètes telles qu'elles sont publiées.

6.2 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre de 0,51 m³

6.2.1 Normes utilisant une éprouvette de matériau exposée verticalement

6.2.1.1 Normes

Deux normes internationales et quatre normes nationales sont fondées sur des essais sur une éprouvette de matériau exposée verticalement dans une chambre de 0,51 m³ de volume.

NOTE La chambre a été développée aux USA par le National Bureau of Standards (désigné à présent sous le nom de National Institute of Standards and Technology) et elle est souvent connue sous le terme de "chambre NBS".

Il s'agit de: CEI/TR 60695-6-30 [1]⁴ et CEI 60695-6-31 [2], ASTM E662 [3], BS 6401 [4], NF C20-902-1 [5] et de NF C20-902-2 [6].

6.2.1.2 But et principe

Cet essai au feu à petite échelle est utilisé pour évaluer l'opacité de la fumée produite par une éprouvette de matériau exposée verticalement à un rayonnement thermique spécifié, avec ou sans flamme pilote, dans une chambre fermée d'un volume de 0,51 m³. Le flux lumineux qui traverse la fumée est mesuré et enregistré en continu.

6.2.1.3 Eprouvette

L'éprouvette est une plaque de 76,2 mm × 76,2 mm, et d'épaisseur maximale 25,4 mm.

6.2.1.4 Méthode

La méthode utilise une source d'énergie rayonnante électrique installée de façon à produire un flux thermique de 25 kW/m² sur l'éprouvette montée verticalement. Deux types d'essai sont communément utilisés:

- essai sans flammes, essai où seule la source d'énergie rayonnante est utilisée, ou
- essai avec flammes pilotes, essai pour lequel un petit brûleur est utilisé en plus de la source d'énergie rayonnante. Ce brûleur produit une rangée de flammes pilotes le long du côté inférieur de l'éprouvette, qui allume les produits de la combustion.

⁴ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Un dispositif photométrique utilisant une lumière blanche polychromatique, avec un flux lumineux vertical, est employé pour mesurer les variations de la transmission lumineuse pendant l'essai.

Les résultats sont exprimés en termes de densité optique spécifique, D_s , calculée à l'aide de la formule suivante:

$$D_s = (V / AL) \log_{10}(I / T)$$

où

V est le volume de la fumée (c'est-à-dire le volume de la chambre);

A est l'aire de la surface exposée de l'éprouvette;

L est la longueur du faisceau lumineux utilisé pour mesurer la fumée;

I est le flux lumineux incident;

T est le flux lumineux transmis.

D_s est relatif à l'aire d'extinction de la fumée (S) par la formule:

$$D_s = S / [A \times \ln(10)]$$

c'est-à-dire

$$D_s = S / [2,303 \times A]$$

où S est la surface d'extinction de la fumée.

NOTE D_m est utilisé à la place de D_s dans la NF C20-902-1 & -2 (voir A.1).

6.2.1.5 Répétabilité et reproductibilité

La répétabilité et la reproductibilité ont été déterminées par un essai interlaboratoire basé sur les normes françaises NF C 20-902-1 et NF C 20-902-2.

Les résultats, présentés en conformité avec l'ISO 5725-2, sont donnés à l'Annexe A.

6.2.1.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

Les méthodes d'essais basées sur l'utilisation de la chambre à fumée NBS ont été largement utilisées dans le monde entier depuis 1970 environ, avec pour objet initial l'évaluation des matériaux. Cependant, ces méthodes sont maintenant remplacées dans de nombreux cas par celles de l'ISO 5659-2 (voir 6.2.2) qui évitent les quelques limitations suivantes de la méthode NBS:

- Le flux thermique est relativement faible et la quantité d'air disponible limitée, ce qui signifie que la méthode est seulement capable de reproduire les conditions correspondant à la phase 1 b) et, éventuellement, à la phase 2 de l'ISO 19706 (voir Tableau 1).
- l'éprouvette est petite, montée verticalement, et doit être plate, ce qui limite l'application de la méthode à la seule évaluation des matériaux et exclut les liquides et certains matériaux thermoplastiques. Les éprouvettes qui se boursouflent du côté du four occasionnent également des difficultés du fait que le flux thermique reçu par l'éprouvette augmente significativement et que les flammes pilotes peuvent être éteintes, ce qui rend le résultat de l'essai inutilisable.
- les limitations du faible flux thermique et la géométrie de l'éprouvette signifient qu'il est difficile d'établir une relation entre les résultats des essais effectués dans la chambre NBS et les autres scénarios feu.

D'autres limitations pour les méthodes basées sur la chambre NBS sont celles qui suivent:

- d) Il n'y a pas ou peu de corrélation entre les résultats provenant de cet essai et les risques dûs aux produits dans des incendies ou dans des essais au feu en vraie grandeur.
- e) Il n'y a pas de moyen de contrôler la masse de l'éprouvette pendant l'essai.
- f) L'arrivée d'air est limitée et l'éprouvette cesse de brûler si la concentration en oxygène devient inférieure à environ 14 %;
- g) le dépôt de fumée sur les parois est important.
- h) La répétabilité et la reproductibilité ont été étudiées de nombreuses fois, elles varient peu (voir l'Annexe A) et dépendent de la nature des matériaux en essai. Les matériaux qui fluent beaucoup à chaud, ceux qui se boursouflent de façon excessive ou ceux dont l'allumabilité n'est pas reproductible donnent les résultats les moins fiables.

La méthode offre cependant une option utile pour évaluer la production de fumée pendant une combustion avec ou sans flamme, bien que l'essai soit réalisé sous un faible flux thermique.

Il n'est pas recommandé d'utiliser les résultats obtenus pour évaluer des risques du feu ou pour les études de sécurité au feu.

En général, cette méthode n'est pas recommandée pour de nouvelles études de produits électrotechniques. De même, il n'est pas recommandé de se baser sur cette méthode pour la réglementation ou pour d'autres contrôles de la fumée émise par les produits électrotechniques du fait des limitations dues à la géométrie des éprouvettes et au modèle physique du feu utilisé.

6.2.2 Normes utilisant une éprouvette de matériau exposée horizontalement

6.2.2.1 Norme

Une norme internationale, ISO 5659-2 [7], est fondée sur la méthode suivante:

6.2.2.2 But et principe

Cet essai est utilisé pour évaluer l'opacité de la fumée générée à partir d'une éprouvette d'essai d'un matériau placée horizontalement, exposée à un rayonnement thermique spécifié avec ou sans flamme pilote, dans une chambre fermée ayant un volume de 0,51 m³. Le flux lumineux traversant la fumée est mesuré et enregistré en continu.

NOTE Cette méthode utilise un appareillage identique à celui décrit en 6.2.1, à l'exception des modifications de la source de rayonnement thermique et de l'orientation de l'éprouvette.

6.2.2.3 Eprouvette

L'éprouvette est une plaque de 75 mm × 75 mm et d'épaisseur maximale 25 mm.

6.2.2.4 Méthode

La méthode utilise l'énergie radiante d'un cône chauffé électriquement; les éprouvettes montées horizontalement sont exposées à un flux incident de 25 kW/m² ou 50 kW/m². La source de chaleur est constituée par un bobinage électrique contenu dans un cône tronqué en acier. Le mode d'exposition peut être avec flammes ou sans flammes dépendant de l'utilisation ou non de flammes pilotes d'un petit brûleur à gaz.

La chambre d'essai est une enceinte close, de volume 0,51 m³, l'opacité de la fumée est évaluée au moyen d'un système photométrique muni d'un faisceau de lumière blanche traversant verticalement la chambre. Le photodétecteur mesure la diminution de la lumière transmise due à l'accumulation de fumée.

Les éprouvettes sont placées horizontalement sous le radiateur conique avec une distance de 25 mm entre la surface de l'éprouvette et le bord inférieur du radiateur. Pour les éprouvettes

qui deviennent intumescents lorsqu'elles sont exposées au radiateur conique, il convient que la distance soit augmentée jusqu'à 50 mm. Le flux thermique appliqué à l'éprouvette est étalonné, avant les essais, pour la distance utilisée.

Les mesures de transmission de lumière sont utilisées pour déterminer la densité optique spécifique de la fumée.

En option, la perte de masse de l'éprouvette peut aussi être enregistrée en continu pendant l'essai au moyen d'une cellule de pesage placée sous l'éprouvette. Si une cellule de pesage est utilisée, la densité optique massique peut également être déterminée.

Les résultats sont exprimés, 10 min après le début de l'essai, en termes de densité optique spécifique, D_{s10} , qui est calculée en utilisant la formule suivante:

$$D_{s10} = (V / AL) \log_{10}(100 / T_{10})$$

où

V est le volume de la fumée (c'est-à-dire le volume de la chambre);

A est l'aire de la surface exposée de l'éprouvette;

L est la longueur du faisceau lumineux utilisé pour mesurer la fumée;

T_{10} est la transmittance en pourcentage après 10 min;

La formule suivante relie D_{s10} à l'aire d'extinction de la fumée produite après 10 min, $S_{(t=10 \text{ min})}$, par l'équation suivante:

$$D_{s10} = S_{(t=10 \text{ min})} / [A \times \ln(10)], \text{ soit}$$

$$D_{s10} = S_{(t=10 \text{ min})} / [2,303 \times A]$$

Les résultats peuvent être également exprimés en termes de densité optique massique, D_{masse} , en utilisant l'équation suivante:

$$D_{\text{masse}} = [(V / L) \log_{10} (100 / T)] / \Delta m$$

où

T est la transmittance en pourcentage;

Δm est la masse consommée.

La relation entre D_{masse} et l'aire d'extinction de la fumée est donnée par ce qui suit:

$$S = D_{\text{masse}} \Delta m \ln(10) = 2,303 D_{\text{masse}} \Delta m$$

6.2.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Un essai interlaboratoire réunissant huit laboratoires a été effectué pendant la préparation de l'ISO 5659-2. Les résultats, présentés selon l'ISO 5725-2, sont donnés au Tableau B.1 de l'Annexe B.

Un essai interlaboratoire supplémentaire réunissant dix laboratoires a été effectué pour deux matières plastiques intumescents (polycarbonate et revêtement de sol en PVC) en utilisant la distance de 50 mm entre l'éprouvette et le radiateur, pendant une révision de l'ISO 5659-2. Les résultats, présentés selon l'ISO 5725-2, sont donnés au Tableau B.2 et au Tableau B.3 de l'Annexe B.

6.2.2.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

Cette méthode est fondée sur la chambre à fumée NBS (voir 6.1) et incorpore de nombreuses améliorations utiles:

- a) L'éprouvette est orientée horizontalement, ce qui permet l'évaluation des thermoplastiques. Avec les nouveaux développements, cette méthode peut convenir pour les liquides. Cependant, cette méthode reste uniquement utilisable pour des éprouvettes plates. Les éprouvettes qui se boursouflent se déplaceront vers la source de chaleur et seront sujettes à des flux thermiques non normalisés;
- b) Le flux thermique maximal est augmenté jusqu'à 50 kW/m², ce qui signifie que la méthode est susceptible de répliquer un feu de phase 3a) selon l'ISO 19706, en plus des phases 1b) et 2 (voir Tableau 1). Ce flux thermique est aussi susceptible de fournir une plus grande discrimination entre des matériaux comportant des retardateurs de flamme.
- c) Si la perte de masse est enregistrée, celle-ci peut être utilisée pour l'évaluation du risque ou pour calculer la densité optique massique. Les résultats obtenus peuvent convenir comme base pour l'évaluation des risques du feu ou pour les études de sécurité au feu.
- d) Une méthode d'essai pour les matériaux intumescents est ajoutée.

La répétabilité et la reproductibilité de la méthode sont très variables et dépendent de la nature des matériaux en essai. En particulier, la production de fumée dépend essentiellement et d'une façon critique du comportement à l'allumage du matériau à l'essai.

Cette méthode est utilisée comme base pour les contrôles de surveillance par l'OMI (Organisation Maritime Internationale). Elle n'est pas recommandée comme base de contrôle réglementaire pour les produits électrotechniques, à moins que le produit électrotechnique à essayer n'entre dans les limites de la géométrie des éprouvettes.

6.3 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre à fumée de 27 m³

6.3.1 Normes

Quatre normes internationales sont fondées sur l'utilisation d'une chambre à fumée de 27 m³ (3 m × 3 m × 3 m). Il s'agit de la CEI 61034-1 [8], la CEI 61034-2 [9], l'EN 61034-1 [10], l'EN 61034-2 [11]. La chambre est souvent désignée sous le nom de "trois mètres cubes".

Deux normes nationales utilisent la chambre "trois mètres cubes". Il s'agit de la BS 6853 [12] et de la CEI 20-37-3 [13].

6.3.2 But et principe

Cet essai est utilisé pour évaluer la densité de fumée produite dans une chambre d'essai fermée par des matériaux ou des produits exposés à une source de combustion avec flamme. Le flux lumineux traversant la fumée est mesuré et enregistré en continu.

6.3.3 Eprouvette

L'éprouvette est constituée de matériaux ou de produits, typiquement d'un mètre de long, disposés horizontalement au-dessus de la source d'allumage.

6.3.4 Méthode

La méthode d'essai utilise un bac contenant de l'alcool à brûler (un litre) comme source de la flamme sous l'éprouvette, dans une chambre close d'un volume de 27 m³. La densité des fumées est mesurée au moyen d'un système photométrique utilisant une lumière blanche qui traverse horizontalement la chambre à une hauteur de 2,15 m. Le photodétecteur mesure la diminution de lumière transmise due à l'accumulation de la fumée. Les mesures de lumière transmise sont utilisées pour évaluer l'obscurcissement maximal obtenu pendant l'essai. Un ventilateur est utilisé pendant l'essai pour homogénéiser la fumée et minimiser l'effet de stratification.

Dans certaines normes, les valeurs de transmittance en pourcentage (% *T*) sont enregistrées en utilisant la formule suivante:

$$\%T = 100 (T/I)$$

où

I est le flux lumineux incident;

T est le flux lumineux transmis.

Dans certaines normes conçues à l'origine pour les câbles, les valeurs de densité optique (appelées A_m) sont calculées avec l'équation qui suit:

$$A_m = \log_{10} (I/I)$$

NOTE A_m est aussi incorrectement appelé «absorbance» dans certaines normes.

et les résultats sont consignés en fonction du paramètre A_0 suivant:

$$A_0 = A_m V/nL$$

où

V est le volume de la chambre (27 m³);

L est la longueur du faisceau lumineux (3 m);

n est le nombre d'échantillons d'essai.

L'aire d'extinction de la fumée (S) peut être calculée à partir de A_m ou A_0 comme suit:

$$S = A_m V \ln(10) / L = 2,303 V / L$$

$$S = A_0 n \ln(10) = 2,303 A_0 n$$

6.3.5 Répétabilité et reproductibilité

La répétabilité et la reproductibilité ont été déterminées en effectuant un essai interlaboratoire fondé sur la CEI 61034-2.

Les résultats, présentés selon l'ISO 5725-2, sont fournis à l'Annexe C.

6.3.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

La méthode a été développée à l'origine pour évaluer le dégagement de fumée produit par les câbles et les autres produits utilisés dans les réseaux de transports souterrains. Les paramètres du scénario feu (géométrie de la chambre d'essai, source de feu et position de l'éprouvette) ont été choisis en tenant compte de cette utilisation. La méthode est apte à reproduire les conditions d'un feu de la phase 2 selon l'ISO 19706 (voir Tableau 1).

Le dispositif optique utilisé est tel que la méthode ne permet pas de différencier des produits dégageant une quantité de fumée dont la transmission lumineuse à travers la chambre est inférieure à 10 %. Les résultats obtenus ne peuvent pas être utilisés tels quels pour évaluer quantitativement les risques du feu ou pour les études de sécurité mais peuvent convenir à d'autres procédures.

Dans certains pays, cette méthode est utilisée comme base pour les contrôles réglementaires.

Cette méthode convient pour d'autres développements applicables à des produits électrotechniques, en s'assurant que le modèle physique du feu est approprié et que les limites concernant la géométrie de l'éprouvette ainsi que les possibilités de discrimination entre les matériaux sont acceptables.

6.4 Détermination de la densité optique spécifique avec un dispositif d'essai à chambre double

6.4.1 Normes

Un rapport technique international, ISO/TR 5924 [14], est fondé sur la méthode suivante:

6.4.2 But et principe

Cet essai est utilisé pour évaluer l'opacité de la fumée dégagée par des matériaux ou des produits soumis à un rayonnement thermique spécifié dans une chambre double fermée.

6.4.3 Epreuve

L'éprouvette mesure 165 mm × 165 mm et l'épaisseur maximale est de 70 mm.

6.4.4 Méthode

Les éprouvettes sont montées horizontalement dans une chambre de décomposition et sont exposées à un rayonnement thermique atteignant 60 kW/m². La fumée produite est recueillie dans une seconde chambre et l'opacité est mesurée.

6.4.5 Répétabilité et reproductibilité

Il n'existe pas de résultat disponible.

6.4.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

Cette méthode est maintenant peu utilisée, elle a été remplacée par l'ISO 5659-2 et est considérée comme obsolète.

Elle n'est pas recommandée pour de futurs développements.

7 Méthodes d'essais dynamiques publiées

7.1 Généralités

Les méthodes d'essais dynamiques résumées ci-dessous ont été sélectionnées parce qu'elles sont normalisées au niveau international, national ou sont employées dans l'industrie, et parce qu'elles sont habituellement utilisées dans le domaine de l'électrotechnique. L'intention n'est pas de passer en revue toutes les méthodes d'essais possibles.

NOTE Ces résumés donnent une brève description des méthodes d'essais, et il convient de ne pas les utiliser en lieu et place des normes complètes telles qu'elles sont publiées.

7.2 Détermination de la densité de la fumée dégagée par des câbles électriques montés sur une échelle horizontale

7.2.1 Normes

Plusieurs normes nationales et de l'industrie sont fondées sur la méthode suivante. Par exemple, NFPA 262 [15], ULC S102.4 [16], et EN 50289-4-11 [17].

7.2.2 But et principe

Cet essai est utilisé pour évaluer l'obscureissement par la fumée générée par les câbles dans un conduit horizontal avec aspiration.

7.2.3 Epreuve

Les éprouvettes sont constituées par des longueurs de câbles de 7,32 m installées en une seule couche sur les barreaux d'une échelle à câbles de 286 mm de large.

7.2.4 Méthode

Les éprouvettes sont exposées, à une extrémité de l'échelle à câbles, à une flamme de 300 000 BTU/h (87,9 kW) pendant 20 min, à l'intérieur d'un tunnel. Un courant d'air forcé est appliqué sans interruption d'une extrémité à l'autre du tunnel depuis la source d'allumage. Pendant l'essai, on mesure les valeurs maximale et moyenne de la densité optique de la fumée à l'extrémité opposée du tunnel en utilisant une cellule photoélectrique.

7.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Un essai interlaboratoire réunissant cinq laboratoires a été effectué pour évaluer la NFPA 262. Les résultats sont donnés à l'Annexe D.

7.2.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

Cette méthode est utilisée pour simuler un scénario feu spécifique mettant en jeu le mouvement de l'air ambiant avec de sévères conditions de source feu et de ventilation.

Cette méthode permet de reproduire la phase 3b) de l'ISO 19706-1 (voir Tableau 1).

Cette méthode est utilisée pour fournir des résultats pour les contrôles de surveillance de certains types de câbles dans certains pays.

7.3 Détermination de la fumée générée par des câbles électriques montés sur une échelle verticale

7.3.1 Normes

Il existe deux normes nord-américaines qui prévoient l'utilisation d'une échelle verticale et qui concernent la mesure de la fumée. Il s'agit de l'ASTM D5424 [18] et de l'UL 1685 [19].

7.3.1.1 But et principe

Les câbles sont montés sur une échelle verticale qui est enfermée dans une chambre dont la ventilation est contrôlée. L'obscurcissement par la fumée est mesuré; la vitesse de dégagement et la quantité totale de la fumée dégagée sont calculées. Dans certains cas, la perte de masse et le dégagement de chaleur peuvent aussi être mesurés.

7.3.1.2 Eprouvettes

Les câbles sont montés sur une échelle dans plusieurs configurations dépendant du protocole spécifié.

7.3.1.3 Méthode

L'échelle supportant les câbles est attachée verticalement à l'intérieur de l'enceinte comportant, en option, une cellule de pesage.

Le ou les câbles sont exposés à une flamme de 20 kW pendant 20 min. L'obscurcissement par la fumée est mesuré par une cellule photoélectrique située dans le conduit d'évacuation.

Une vitesse de dégagement de la fumée (SRR) est calculée en utilisant le coefficient d'extinction dans le conduit et le débit volumétrique.

7.3.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Il n'existe pas de résultat disponible.

7.3.1.5 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

Ces méthodes sont des adaptations des essais normalisés de l'industrie du câble de mesure de la propagation de la flamme, avec l'adjonction d'une instrumentation dans le conduit d'évacuation de la fumée pour permettre une mesure dynamique sur la fumée.

Les éprouvettes sont linéaires, il convient qu'elles soient autoporteuses et normalement installées verticalement dans des conduits fermés.

Les conditions de ventilation et la source de feu sont telles que la méthode d'essai est capable de reproduire un feu de phase 2 selon l'ISO 19706 (voir Tableau 1).

Cette méthode convient pour des études appliquées à des produits électrotechniques, à condition que l'environnement de l'installation des produits soit approprié, que les limites géométriques de l'éprouvette soient acceptables et que le modèle physique du feu soit convenable. Cette méthode est utilisée pour fournir des informations pour les contrôles réglementaires des câbles dits «à faible dégagement de fumée» aux Etats-Unis et au Canada.

7.3.2 prEN 50399

7.3.2.1 Normes

Il existe une norme européenne qui prévoit l'utilisation d'une échelle verticale et concerne la mesure des fumées. Il s'agit du projet prEN 50399 [20].

7.3.2.2 But et principe

Le projet de norme EN 50399 spécifie l'appareillage d'essai et la procédure d'essai pour l'évaluation de performance au feu des câbles au niveau de la réaction au feu. Il a été développé à partir du programme de recherche FIPEC [21] en réponse à la Directive de Produits de Construction (CPD) [22] pour permettre une classification selon cette directive.

La méthode d'essai décrit un essai à échelle réelle réalisé sur des échantillons de câbles montés sur une échelle verticale avec une source d'allumage spécifiée pour évaluer leur comportement de combustion. L'essai fournit des données pour les premiers stades d'un feu de câbles à partir de l'allumage des échantillons de câble. Il montre le risque de propagation des flammes le long du câble, le potentiel pour que le feu affecte les zones adjacentes au compartiment d'origine par la mesure du débit thermique, et le risque de réduction de la visibilité dans le local d'origine et ceux environnants par la mesure d'obscurcissement de la lumière par la fumée.

Dans des conditions définies, les paramètres suivants peuvent être déterminés pendant l'essai : propagation de la flamme, débit thermique, taux de fumée dégagée, quantité totale de fumée dégagée, accélération de la production énergétique et la production de gouttelettes/particules enflammées.

L'appareillage est basé sur celui de l'EN 60332-3-10 mais avec des changements au niveau du montage, du flux d'air traversant la chambre d'essai et les appareils additionnels pour mesurer le dégagement de chaleur et la fumée dégagée pendant l'essai.

NOTE 1 les changements de montage rendent les comparaisons avec les essais de l'EN 60332-3-10 impossibles.

NOTE 2 La norme CEI qui correspond à la EN 50266-1 est la CEI 60332-10 [24].

prEN 50399 contient deux protocoles. Dans un des protocoles, la source d'allumage de la flamme a une puissance nominale de 20,5 kW. Dans l'autre protocole, la puissance nominale de la source d'allumage est de 30 kW.

Il existe trois classifications différentes de fumée, fondées sur cet essai. Elles sont fondées sur la production totale de fumée et sur la vitesse maximale de production de fumée.

7.3.2.3 Epreuves

Les éprouvettes sont des longueurs de câbles manufacturées de (3,5 +0,1 – 0,0)m. La charge dépend du diamètre du câble. L'écartement entre les éprouvettes sur l'échelle dépend lui aussi du diamètre du câble.

7.3.2.4 Méthode d'essai

Les câbles sont montés à l'avant d'une échelle verticale dans la chambre d'essais. Le débit thermique est déterminé en mesurant la concentration en oxygène, le débit et la température dans le conduit d'évacuation en utilisant le principe de la consommation d'oxygène.

Le flux d'air traversant la chambre d'essai est de $8,0 \text{ m}^3 \times \text{min}^{-1} \pm 0,8 \text{ m}^3 \times \text{min}^{-1}$.

La flamme d'essai est appliquée pendant 20 min après quoi elle est éteinte. Le flux d'air qui traverse la chambre d'essai est maintenu pendant encore 30 s après quoi il est arrêté.

7.3.2.5 Répétabilité et reproductibilité

CLC/TC20/Sec1576/INF [25] est un rapport d'essais interlaboratoires effectués en vue de soutenir le développement et la finalisation du prEN 50399. L'évaluation interlaboratoires concerne en particulier la répétabilité et la reproductibilité.

7.3.2.6 Pertinence des données d'essai

Cet essai a été développé en Europe à la suite de la Directive européenne Produits de Construction et il est exigé pour quatre des classes définies par la Commission Européenne [24]. Les données des essais permettent aux états membres de l'Union Européenne d'utiliser, pour la première fois, un système harmonisé de classification des performances au feu des câbles utilisés dans les bâtiments.

Il a été démontré [21] que l'utilisation de ces techniques de mesure supplémentaires, éprouvées pour d'autres essais normalisés, par exemple pour des produits dans les bâtiments, est appropriée pour l'évaluation de la tenue au feu des câbles électriques. Ces techniques intègrent des mesures du dégagement de chaleur et de la production de fumées.

L'essai n'a pas la résolution pour être capable de différencier les produits qui produisent de très faibles niveaux de fumé. De tels produits sont en général évalués dans la chambre de 3 m cube – voir 6.3.

7.4 Détermination de la fumée en utilisant un cône calorimètre

7.4.1 Normes

Deux normes, l'une nationale et l'autre internationale, sont fondées sur la méthode suivante. Il s'agit de l'ASTM E1354 [26] et de l'ISO 5660-2 [27].

7.4.2 But et principe

Cette méthode est utilisée pour évaluer l'obscurcissement par la fumée dégagée par des éprouvettes exposées à un cône chauffant tronqué, sous de fortes conditions de ventilation. La

fumée produite est extraite par un conduit dans lequel le coefficient d'extinction et le débit du flux volumique sont mesurés.

7.4.3 Epreuve

L'éprouvette est une plaque de 100 mm × 100 mm et d'épaisseur maximale 50 mm.

7.4.4 Méthode

L'éprouvette est exposée à un flux thermique pouvant atteindre 100 kW/m² produit par un cône chauffant; les gaz de combustion sont allumés avec un allumage commandé.

Le cône calorimètre est une méthode qui permet l'essai de plusieurs paramètres simultanément. Il s'agit d'une méthode de mesure dynamique de la fumée et elle utilise des éprouvettes orientées horizontalement. La fumée est aspirée depuis la zone de combustion dans un conduit à une vitesse de 24 dm³/s où elle est contrôlée au moyen d'un faisceau laser hélium/néon et d'un système de photodiode au silicium. La fumée est caractérisée par la surface d'extinction spécifique (σ_f) qui est calculée à partir du coefficient d'extinction, de la vitesse du flux volumique et de la vitesse de perte de masse, en utilisant l'équation suivante:

$$\sigma_f = k \dot{V} / \dot{m}$$

où

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

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

k est le coefficient d'extinction [= (1/L) ln (I / T)].

NOTE Il est important de se rendre compte que σ_f ne donne pas d'information sur la vitesse de production de fumée dans un incendie.

La vitesse de production de fumée est donnée par:

$$\dot{S} = k \dot{V} = \sigma_f \dot{m}$$

La moyenne de la surface d'extinction spécifique ($\sigma_{f \text{ avg}}$) est alors calculée comme suit:

$$\sigma_{f \text{ avg}} = \left[\sum (\dot{V} k \Delta t) \right] / \Delta m = S / \Delta m$$

où

Δt est l'intervalle de temps entre deux lectures;

Δm est la masse consumée.

La surface d'extinction totale de la fumée est donnée par:

$$S = \sum (\dot{V} k \Delta t)$$

La surface d'extinction totale de la fumée produite est aussi donnée par:

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

et peut être trouvée en calculant la zone sous le $\dot{S}$ par rapport au graphique de temps.

7.4.5 Répétabilité et reproductibilité

Un essai interlaboratoire réunissant sept laboratoires a été effectué pendant l'étude de l'ISO 5660-2. Les résultats, présentés selon l'ISO 5725, sont donnés à l'Annexe E.

7.4.6 Relations entre les résultats d'essai et les observations particulières

Le cône calorimètre a été initialement développé pour mesurer la chaleur dégagée par la consommation d'oxygène, et il est souvent équipé d'un dispositif à laser pour permettre d'effectuer des mesures dynamiques sur la fumée.

Le cône calorimètre est largement utilisé, principalement pour produire des résultats pour la modélisation du feu et l'évaluation des risques, mais il a des limitations importantes qui restreignent son utilisation comme moyen d'essai pour les produits électrotechniques:

- a) l'éprouvette est petite et il faut avant tout qu'elle soit plate;
- b) l'essai est réalisé avec un débit d'air non limité sur l'éprouvette, ce qui limite la méthode à la reproduction des phases 1b) et 2 de l'ISO 19706 (voir Tableau 1).

Cette méthode peut servir de base pour développer un essai destiné aux produits électrotechniques, à condition que la géométrie de l'éprouvette plane soit représentative du produit fini.

Il est recommandé que les données de cet essai ne soient pas utilisées seules comme base pour les contrôles réglementaires du dégagement de fumée des produits électrotechniques.

8 Vue d'ensemble des méthodes et relations entre les résultats

Les méthodes décrites sommairement aux Articles 6 et 7 sont résumées au Tableau 2 ci-après en termes de limitations des méthodes d'essais et d'applicabilité aux phases du feu définies au Tableau 1. Il convient que les comités de produits ayant l'intention d'adopter ou de modifier l'une de ces méthodes d'essais s'assurent qu'elle est appropriée et convenable pour l'usage prévu.

Les méthodes d'essais dynamiques donnent généralement des résultats utilisables pour l'évaluation des risques du feu, ou pour les études de sécurité.

NOTE Ces méthodes sont fondées sur une grande variété de modèles physiques du feu et de géométrie des éprouvettes, qui peuvent avoir un effet majeur sur l'obscurcissement provoqué par la fumée dégagée par un matériau ou un produit. De ce fait, on ne peut assurer que le classement relatif aux résultats d'obscurcissement par la fumée des matériaux ou des produits à partir d'un essai sera le même que celui obtenu avec un autre essai.

De plus, on peut exprimer les résultats d'obscurcissement par la fumée de différentes façons, ce qui signifie que les résultats obtenus en appliquant des méthodes différentes ne peuvent être comparés directement sans autres calculs.

Tableau 2 – Vue d'ensemble des méthodes d'essais de fumée

Type de méthode d'essai	Méthode d'essai et article de référence	Limitations concernant l'éprouvette	Relations avec les phases du feu					Limitations de l'utilisation dans un but de réglementation	Application des résultats pour l'étude de la sécurité vis-à-vis du feu
			1(a)	1(b)	1(c)	2	3(a)	3(b)	
Statique	6.21 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre de 0,51 m ³ utilisant un essai vertical de l'éprouvette	Uniquement plat et de surface inférieure à 76,2 mm × 76,2 mm Non souhaitable pour les liquides et certains thermoplastiques	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
	6.2.2 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre de 0,51 m ³ utilisant un essai horizontal de l'éprouvette	Uniquement plat et de surface inférieure à 75 mm × 75 mm Peut convenir pour des produits (voir 6.2)	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non, pas en l'état actuel
	6.3 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre à fumée de 27 m ³	Matériels ou produits (habituellement des câbles), environ 1 m de long	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non, pas en l'état actuel
	6.4 Détermination de densité optique spécifique utilisant une chambre d'essai double	165 mm × 165 mm, épaisseur maximale de 70 mm	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non, pas en l'état actuel

Tableau 2 (suite)

Type de méthode d'essai	Méthode d'essai et article de référence	Limitations concernant l'éprouvette	Relations avec les phases du feu						Limitations de l'utilisation dans un but de réglementation	Application des résultats pour l'étude de la sécurité vis-à-vis du feu
			1(a)	1(b)	1(c)	2	3(a)	3(b)		
Dynamique	7.2 Détermination de l'opacité de la fumée dégagée par des câbles électriques montés sur une échelle horizontale	Essentiellement produits de construction plats ou câbles	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Uniquement pour des produits à géométrie convenable et pour la phase du feu appropriée	Oui
	7.3.1 Détermination de l'opacité de la fumée générée par des câbles électriques montés sur une échelle verticale ASTM D5424 et UL 1685.	Fils ou câbles électriques ou optiques.	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Uniquement pour des fils ou câbles électriques ou optiques et pour la phase du feu appropriée	Oui
	7.3.2 Détermination de l'opacité de la fumée générée par des câbles électriques montés sur une échelle verticale. prEN 50399.	Fils ou câbles électriques ou optiques.	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Uniquement pour des fils ou câbles électriques ou optiques et pour la phase du feu appropriée	Oui
	7.4 Détermination de l'opacité de la fumée en utilisant un cône calorimètre	Destiné aux matériaux plats principalement Peut convenir pour des produits (voir 7.3)	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Uniquement pour des produits à géométrie convenable et pour la phase du feu appropriée	Oui
NOTE L'application des résultats pour l'étude de la sécurité vis-à-vis du feu est limitée aux applications où la méthode d'essai convient au stade du feu.										

Annexe A (informative)

Données sur la répétabilité et la reproductibilité – Chambre NBS – Essais interlaboratoires fondés sur les normes françaises NF C 20-902-1 et NF C 20-902-2

Quatre matériaux utilisés dans le domaine électrotechnique, dont trois dans les câbles électriques, ont été évalués dans 14 chambres à fumée NBS, conformes à la méthode décrite dans les normes françaises NF C 20-902-1 et NF C 20-902-2.

Les résultats de ces essais relatifs à la détermination de D_m sont résumés dans le Tableau suivant:

Tableau A.1 – Valeurs de D_m

Méthode d'essai	Paramètre	Matériaux étudiés			
		Silicone	Polyéthylène chloro-sulfoné	Ethylène d'acétate de vinyle	Polyamide 6,6
Sans flammes	m	278	234	314	70
	r	43	113	42	11
	S_r	15	40	17	4
	R	67	287	81	41
	S_R	24	102	29	15
Avec flammes	m	211	624	259	84
	r	158	98	115	44
	S_r	56	85	41	16
	R	206	131	204	60
	S_R	74	68	73	21
m est la densité optique spécifique moyenne (D_m); r est la répétabilité; S_r est l'écart type de répétabilité; R est la reproductibilité; S_R est l'écart type de reproductibilité.					

Annexe B (informative)

Données sur la répétabilité et la reproductibilité – ISO 5659-2

Tableau B.1 – Valeurs de D_{s10}

Matériau	Epaisseur mm	Eclairement énergétique kW/m ²	Moyenne D_{s10}	Répétabilité (dans un laboratoire)		Reproductibilité (entre laboratoires)	
				r	% de la moyenne	R	% de la moyenne
PMMA	1,0	25	11	4	38	10	91
		25 + pf ^a	55	13	24	29	53
		50	54	11	20	17	32
ABS	1,1	25	312	77	25	311	100
		25 + pf ^a	441	146	33	205	46
		50	435	102	23	192	44
Mousse rigide de polyuréthane (28 kg/m ³)	25,0	25	49	16	32	61	124
		25 + pf ^a	48	24	51	26	54
		50	145	48	33	97	67
Mousse souple de polyuréthane (27 kg/m ³)	25,0	25	178	49	27	114	64
		25 + pf ^a	80	28	35	56	70
		50	127	46	36	80	63
Polystyrène expansé (non ignifuge; 14 kg/m ³)	25,0	25	112	75	67	196	175
		25 + pf ^a	102	75	74	130	128
		50	270	88	33	195	72

^a + pf indique que l'essai est exécuté en mode 2 (c'est-à-dire avec une flamme pilote).

Tableau B.2 – Résultats d'essai pour le polycarbonate

Conditions d'essai	Paramètres	Moyenne A	Répétabilité r	r/A (%)	Reproductibilité R	R/A (%)	Nombre de laboratoires
25 kW/m ² Avec flammes pilotes	D_{s10}	8,4	1,6	20,1	3,8	45,2	6
	D_{smax}	17,1	2,1	10,4	5,4	31,8	6
25 kW/m ² Sans flammes pilotes	D_{s10}	8,7	1,2	15,9	2,5	28,4	5
	D_{smax}	22,2	1,8	8,1	3,7	16,7	6
50 kW/m ² Sans flammes pilotes	D_{s10}	*	*	*	*	*	*
	D_{smax}	*	*	*	*	*	*

NOTE La distance entre l'éprouvette et le radiateur était de 50 mm.

* La plupart des laboratoires ont indiqué que D_{s10} et D_{smax} ont dépassés 500.

Tableau B.3 – Résultats d'essai pour les revêtements de sol en PVC

Conditions d'essai	Paramètre	Moyenne A	Répétabilité r	r/A (%)	Reproductibilité R	R/A (%)	Nombre de laboratoires
25 kW/m ² Avec flammes pilotes	$D_{s\ 10}$	260,8	47,8	18,8	74,7	28,6	9
	$D_{s\ max}$	296,0	57,9	20,1	96,3	32,5	9
25 kW/m ² Sans flammes pilotes	$D_{s\ 10}$	472,6	41,6	9,8	124,0	26,2	9
	$D_{s\ max}$	504,0	22,7	4,8	101,9	20,2	9
50 kW/m ² Sans flammes pilotes	$D_{s\ 10}$	376,6	26,8	6,8	110,4	29,3	8
	$D_{s\ max}$	491,6	28,7	6,0	95,9	19,5	8
NOTE La distance entre l'éprouvette et le radiateur était de 50 mm.							

Annexe C (informative)

Données sur la répétabilité et la reproductibilité – Chambre de "trois mètres au cube" – Essais interlaboratoires français selon la CEI 61034-2

Trois types de câbles ont été évalués dans sept laboratoires utilisant des chambres de «trois mètres au cube» conformément à la procédure décrite dans la première édition de la CEI 61034-2 (1991).

Les résultats des ces essais, relatifs à la détermination du pourcentage de transmission de lumière à travers la fumée, sont résumés dans le Tableau C.1.

Tableau C.1 – Valeurs du flux lumineux transmis en pourcentage

Méthode d'essai	Paramètre	Type de câble étudié		
		Câble souple %	Câble armé rigide %	Câble à fibres optiques %
C	m	77	81	81
	r	9	9	7
	S_r	3	3	3
	R	15	16	13
	S_R	4	6	4
m est la moyenne du flux lumineux transmis en pourcentage; r est la répétabilité; S_r est l'écart type de répétabilité; R est la reproductibilité; S_R est l'écart type de reproductibilité.				

NOTE Cet essai interlaboratoires a été effectué à l'aide de la première édition de la CEI 61034-2. Certaines améliorations techniques sont décrites dans les deuxième et troisième éditions.

Annexe D (informative)

Données sur la répétabilité et la reproductibilité – NFPA 262

Cinq laboratoires ont été réunis pour cet essai international interlaboratoires [29].

Dans cette méthode d'essai, le système de mesure des fumées est étalonné avec des filtres de densité neutre dans la plage comprise entre 0,1 et 1,0. La densité optique mesurée est nécessaire pour avoir une réponse linéaire en tenant compte des filtres de densité neutre avec un coefficient de régression d'au moins 0,99. Les résultats de densité optique sont indiqués avec une précision de 0,01.

La méthode utilisée pour déterminer la répétabilité et la reproductibilité était dans l'ISO 5725-2.

La valeur moyenne (m), la répétabilité (r) et la reproductibilité (R) ont été calculées pour chacune des six éprouvettes de câbles.

Densité optique maximale			
Câble	m	r	R
1	0,24	0,14	0,16
2	0,33	0,12	0,18
3	0,32	0,07	0,16
4	0,32	0,10	0,13
5	0,34	0,12	0,33
6	0,18	0,12	0,17

Densité optique moyenne			
Câble	m	r	R
1	0,09	0,05	0,07
2	0,09	0,02	0,02
3	0,13	0,04	0,04
4	0,11	0,01	0,02
5	0,15	0,02	0,07
6	0,07	0,04	0,05

Annexe E (informative)

Données de précision de la mesure de la fumée de l'ISO 5660-2

Une série d'essais interlaboratoires pour l'ISO 5660 a été effectuée au sein de sept laboratoires, sur cinq éprouvettes simulant des composites de meubles rembourrés dans le projet européen de programme de recherche sur le feu du CBUF (comportement en combustion des meubles rembourrés). Dans ces essais, une surface spécifique d'extinction ($\text{m}^2 \times \text{kg}^{-1}$), qui est basée sur la mesure du coefficient d'extinction de la fumée et sur la perte de masse de l'éprouvette au cours des essais, a été obtenue par la méthode de l'ISO 5660-2 en plus des données sur la chaleur dégagée. Les résultats des essais interlaboratoires donnent des données de précision sur la méthode de mesure de la production de fumée de l'ISO 5660-2.

Le Tableau E.1 présente le contenu des éprouvettes se composant d'une combinaison de matériaux de meubles rembourrés.

Tableau E.1 – Combinaisons de matériaux de meubles rembourrés

Réf. No.	Matériaux
1	Tissu acrylique sur la face arrière, $546 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, mousse de polyuréthane à haute résilience non ignifuge, $21 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
2	Tissu de coton ignifuge, $422 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, mousse à haute résilience modifiée par combustion, $30 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
3	Tissu de polypropylène, $264 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, mousse de polyuréthane non ignifuge, $21 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
4	Tissu de laine, $432 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$, mousse à haute résilience modifiée par combustion, $30 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
5	Similaire à la combinaison 1, mais comprend un coupe-feu en Kevlar, $65 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$

Le Tableau E.2 présente les données pour la répétabilité (r) et la reproductibilité (R), ainsi que la valeur moyenne (m). L'analyse a été effectuée conformément à l'ISO 5725:1986, qui était en vigueur lorsque les essais ont été réalisés.

**Tableau E.2 – Répétabilité et reproductibilité
de la surface spécifique d'extinction (m^2/kg)**

Numéro de référence	Nombre de laboratoires	m	r	R
1	6	399	93	366
2	5	108	60	76
3	6	499	91	112
4	6	241	27	56
5	5	341	93	333

Un modèle de régression linéaire spécifié dans l'ISO 5725 (équation II) est utilisé pour décrire r et R en fonction de la moyenne. Les équations suivantes sont obtenues à partir des données du Tableau E.2.

$$r = 28,83 + 0,14m \quad (\text{E.1})$$

$$R = 15,03 + 0,56m \quad (\text{E.2})$$

Bibliographie

- [1] CEI/TR 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*
- [2] CEI 60695-6-31, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-31: Opacité des fumées – Méthode statique à petite échelle – Matériaux*
- [3] ASTM E662, *Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*
- [4] BS 6401, *Method for measurement, in the laboratory, of the specific optical density of smoke generated by materials*
- [5] NF C20-902-1, *Essais relatifs aux risques du feu – Méthodes d'essai – Détermination de l'opacité des fumées en atmosphère non renouvelée – Partie 1: Méthodologie et dispositif d'essai*
- [6] NF C20-902-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Méthodes d'essai – Détermination de l'opacité des fumées en atmosphère non renouvelée – Partie 2: Méthodes d'essais pour matériaux utilisés dans les câbles électriques et dans les câbles à fibres optiques*
- [7] ISO 5659-2, *Plastiques – Production de fumée – Partie 2: Détermination de la densité optique par un essai en enceinte unique*
- [8] CEI 61034-1, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 1: Appareillage d'essai*
- [9] CEI 61034-2, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 2: Procédure d'essai et exigences*
- [10] EN 61034-1, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 1: Appareillage d'essai*
- [11] EN 61034-2, *Mesure de la densité de fumées dégagées par des câbles brûlant dans des conditions définies – Partie 1: Procédure d'essai et exigences*
- [12] BS 6853, *Code of practice for fire precautions in design and construction of passenger carrying trains*
- [13] CEI 20-37-3, *Essais sur les gaz dégagés pendant la combustion des câbles électriques – Partie 3: Mesure de la densité de la fumée des câbles électriques et des matériaux brûlant dans des conditions définies (méthodes A + B)*
- [14] ISO/TR 5924, *Essais au feu – Réaction au feu – Fumée générée par les produits de bâtiment (essai en chambre double)*
- [15] NFPA 262, *Standard method of test for flame travel and smoke of wires and cables for use in air-handling spaces*
- [16] ULC S102.4, *Test for fire and smoke characteristics of electrical wiring and cables*

- [17] EN 50289-4-11, *Câbles de communication – Spécifications des méthodes d'essai – Partie 4-11: méthodes d'essais d'environnement – Méthode intégrée d'essai horizontal au feu*
 - [18] ASTM D5424, *Standard test method for smoke obscuration of insulating materials contained in electrical or optical fibre cables when burning in a vertical cable tray configuration*
 - [19] UL 1685, *Vertical-tray fire-propagation and smoke-release test for electrical and optical-fibre cables*
 - [20] EN 50399, *Méthodes d'essai communes aux câbles soumis au feu – Mesure de la chaleur et de la fumée dégagées par les câbles au cours de l'essai de propagation de la flamme – Appareillage d'essai, procédure et résultats.* (publication à venir)
 - [21] *Fire Performance of Electrical Cables (Tenue au feu des câbles électriques), Final report on the European Commission SMT programme sponsored research project SMT4-CT96-2059*, Interscience Communications Limited 2000, ISBN 09532312 5 9
 - [22] Directive du Conseil 89/106/CEE du 21 Décembre 1988, *La Directive Produits de Construction*
 - [24] EN 60332-3-10, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 3-10: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Appareillage*
 - [25] Décision de la Commission Européenne 2006/751/CE
 - [26] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique [CENELEC], Comité Technique 20: Câbles électriques , “prEN 50399 – Evaluation interlaboratoires”, TC20/Sec1576/INF, juin 2008
 - [27] ASTM E1354, *Standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter*
 - [28] ISO 5660-2, *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)*
 - [29] FPRF (Fire Protection Research Foundation), Batterymarch Park, Quincy Mass. USA. “International NFPA 262 Fire Test Harmonization Project”
-

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