

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-2:2018



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
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.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

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

ICS 13.220.99; 29.020

ISBN 978-2-8322-5780-7

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Types of test method	11
4.1 General.....	11
4.2 The physical fire model	11
4.3 Static test methods	12
4.4 Dynamic test methods.....	12
5 Types of test specimen.....	14
6 Published static test methods	14
6.1 General.....	14
6.2 Determination of smoke opacity in a 0,51 m ³ chamber.....	14
6.2.1 Standards which use a vertically oriented test specimen.....	14
6.2.2 Standard which uses a horizontally oriented test specimen.....	16
6.3 Determination of smoke density in a 27 m ³ smoke chamber	18
6.3.1 Standards	18
6.3.2 Purpose and principle	18
6.3.3 Test specimen	18
6.3.4 Method	18
6.3.5 Repeatability and reproducibility	19
6.3.6 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	20
7.2.1 Standards.....	20
7.2.2 Purpose and principle	20
7.2.3 Test specimen	20
7.2.4 Method	20
7.2.5 Repeatability and reproducibility	20
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 ASTM and UL standards.....	20
7.3.2 European standard	21
7.4 Determination of smoke using a cone calorimeter	23
7.4.1 Standards.....	23
7.4.2 Purpose and principle	23
7.4.3 Test specimen	23
7.4.4 Method	23
7.4.5 Repeatability and reproducibility	24
7.4.6 Relevance of test data and special observations.....	24
7.5 Determination of smoke generated by discrete (non-continuous) products	24
7.5.1 Standards.....	24

7.5.2	Purpose and principle	24
7.5.3	Test specimen	25
7.5.4	Method	25
7.5.5	Repeatability and reproducibility	25
7.5.6	Relevance of test data and special observations	25
8	Overview of methods and relevance of data	25
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		28
Annex B (informative) Repeatability and reproducibility data – "Three metre cube" smoke chamber – French interlaboratory tests according to IEC 61034-2		29
Annex C (informative) Repeatability and reproducibility data – NFPA 262		30
Bibliography		31
Table 1 – Characteristics of fire stages (ISO 19706:2011)		13
Table 2 – Overview of smoke test methods		26
Table A.1 – Measurement of D_m		28
Table B.1 – Measurement of transmission expressed as a percentage		29
Table C.1 – Measurements of Peak Optical Density		30
Table C.2 – Measurements of Average Optical Density		30

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-2:2018

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 60695-6-2 published in 2011. This second edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) updated introduction;
- b) updated normative references;
- c) new text in 4.1;
- d) deletion of references to IEC 60695-6-30 and -31 (withdrawn)
- e) updates with respect to ISO 5659-2;

- f) deletion of references to BS 6853 and CEI 20-37-3 (superseded);
- g) deletion of references to ISO/TR 5924 (withdrawn);
- h) updated text with respect to EN 50399;
- i) updated text with respect to ISO 5660-1;
- j) addition of new Subclause 7.5
- k) deletion of Annex B;
- l) deletion of Annex E;
- m) additional bibliographic references.

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:

FDIS	Report on voting
89/1399/FDIS	89/1405/RVD

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

This document 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 *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

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

In the design of an electrotechnical product the risk of fire and the potential hazards associated with fire need to be considered. In this respect the objective of component, circuit and equipment design, as well as the choice of materials, is to reduce the risk of fire to a tolerable level even in the event of reasonably foreseeable (mis)use, malfunction or failure. IEC 60695-1-10 [1]¹, IEC 60695-1-11 [2], and IEC 60695-1-12 [3] provide guidance on how this is to be accomplished.

Fires involving electrotechnical products can also be initiated from external non-electrical sources. Considerations of this nature are dealt with in an overall fire hazard assessment.

The aim of the IEC 60695 series is to save lives and property by reducing the number of fires or reducing the consequences of the fire. This can be accomplished by:

- trying to prevent ignition caused by an electrically energised component part and, in the event of ignition, to confine any resulting fire within the bounds of the enclosure of the electrotechnical product.
- trying to minimise flame spread beyond the product's enclosure and to minimise the harmful effects of fire effluents including heat, smoke, and toxic or corrosive combustion products.

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

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

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 commonly used test methods for 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 gives recommendations on their use.

This basic safety publication shall be used 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 documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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, *Fire hazard testing – Part 6-1: Smoke obscuration – General guidance*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

IEC GUIDE 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

ISO 5660-1:2015, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)*

ISO 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 19706:2011, *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 13943:2008, some of which are reproduced below for users' convenience, and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidising agent

Note 1 to entry: Combustion generally emits fire effluent accompanied by flames and/or glowing.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.2

extinction area of smoke

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

Note 1 to entry: It is a measure of the amount of smoke, and the typical units are square metres (m^2).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 to entry: Typical units are reciprocal metres (m^{-1}).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 to entry: 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.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.7

fire effluent

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, definition 4.105]

3.8

fire hazard

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 to entry: 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.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.11

heat flux

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

Note 1 to entry: The typical units are watts per square metre ($\text{W} \times \text{m}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.173]

3.12

ignition

sustained ignition (deprecated)

(general) initiation of combustion

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.13

ignition

sustained ignition (deprecated)

(flaming combustion) initiation of sustained flame

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 to entry: The typical units are square metres per gram ($\text{m}^2 \times \text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 to entry: In practice, obscuration by smoke is usually measured as the transmittance, which is normally expressed as a percentage.

Note 2 to entry: Obscuration by smoke causes a reduction in visibility.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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** (3.25)

Note 1 to entry: The optical density of smoke is dimensionless.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.251]

3.18

plenum

area located above false ceilings where heating, ventilating or air-conditioning ducts are located, as well as communication cables and other utilities

3.19

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 1 to entry: 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.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.273]

3.20

small-scale fire test

fire test performed on a test specimen of small dimensions

Note 1 to entry: 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.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.292]

3.21

smoke

visible part of fire effluent

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.293]

3.22**smoke production rate**

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

Note 1 to entry: 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 to entry: The typical units are square metres per second ($\text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.295]

3.23**smoke release rate**

see **smoke production rate** (3.21)

3.24**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 1 to entry: The typical units are square metres per gram ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.301]

3.25**specific optical density of smoke**

optical density of smoke multiplied by a geometric factor

Note 1 to entry: The geometric factor is $V/(A \times L)$, 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 to entry: 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 to entry: The specific optical density of smoke is dimensionless.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.303]

3.26**visibility**

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.350]

4 Types of test method**4.1 General**

In cases where fire tests are not yet specified, and need to be developed or altered for the special purpose of an IEC technical committee, this shall be done in liaison with the relevant IEC technical committee.

The test method(s) selected shall be relevant to the fire scenario of concern.

4.2 The 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 19706:2011, 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 recirculation 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 recirculation. 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-2:2018

Table 1 – Characteristics of fire stages (ISO 19706:2011)

Fire stage	Heat flux to fuel surface kW/m ²	Max. temperature °C		Oxygen volume %		Fuel/air equivalence ratio (plume)	$\frac{[CO]}{[CO_2]}$ v/v	$\frac{100 \times [CO_2]}{([CO_2] + [CO])}$ % efficiency
		Fuel surface	Upper layer	Entrained	Exhausted			
1. Non-flaming								
a. self-sustaining (smouldering)	n.a.	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 in this clause 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; however, full information is given in the 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

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: ASTM E662 [1], BS 6401 [5], NF C20-902-1 [6] and NF C20-902-2 [7].

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.

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 [8], 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.

NOTE IEC TR 60695-6-30 and IEC 60695-6-31, which used this test method, were withdrawn at the end of 2015 because of the shortcomings of the test method.

6.2.2 Standard which uses a horizontally oriented test specimen

6.2.2.1 Standard

One International standard, ISO 5659-2 [9], 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

Table B.1 and Table B.2 of ISO 5659-2:2016 give the repeatabilities and reproducibilities of D_{s10} for five plastics and five building materials, derived in accordance with ISO 5725:1986.

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 D.1 and Table D.2 of ISO 5659-2:2016.

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 International Maritime Organisation [30]. 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 [10] and IEC 61034-2 [11]. The chamber is often referred to as the “three metre cube”.

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 B.

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.

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.

In some countries, this method is used as the basis for regulatory control. In the European Union, IEC 61034-2 is required by the Construction Products Regulation [12] for some of the additional classifications for electric cables as defined in EN 13501-6 [13].

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; however, full information is given in the 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 [14], ULC S102.4 [15], and EN 50289-4-11 [16].

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 C.

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 ASTM and UL standards

7.3.1.1 ASTM D5424 and UL 1685

There are two north American vertical ladder standards that involve the measurement of smoke. These are ASTM D5424 [17] and UL 1685 [18].

7.3.1.2 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.

7.3.1.3 Test specimens

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

7.3.1.4 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.

7.3.1.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

7.3.1.6 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 European standard

7.3.2.1 EN 50399

There is a European vertical ladder standard that involves the measurement of smoke. This is EN 50399 [19].

7.3.2.2 Purpose and principle

EN 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 [20] in response to the European Construction Products Directive (CPD) [21] to enable classification under the CPD to be achieved.

NOTE The CPD has now become the European Construction Products Regulation [12].

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 60332-3-10 tests impossible.

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

EN 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 $(3,5 + 0,1 - 0,0)$ 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 [23] 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 (now the CPR [12]), and is required for four of the classes of electric cables defined by the European Commission [13], [24]. 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 [20] 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 [25] and ISO 5660-1 [26].

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

Annex C of ISO 5660-1:2015 gives details of the resolution, precision and bias of the test method.

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 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.

7.5 Determination of smoke generated by discrete (non-continuous) products

7.5.1 Standards

There are two North American discrete product standards that involve the measurement of smoke based on the following method. They are: ANSI/UL 2043 [27] and CAN/ULC S142 [28].

7.5.2 Purpose and principle

This test is used to assess the smoke obscuration generated by discrete (non-continuous) products when exposed to an approximate 60 kW ignition source. Products are mounted within a specified frame enclosure under a collection hood. Smoke obscuration is measured, and smoke release rate and total smoke release are calculated. Heat release may also be measured.

NOTE A discrete (non-continuous) product has an independent and limited form or shape. Products such as loudspeakers, recessed luminaires, IT equipment, and wire positioning devices are considered to be discrete. Products such as continuous piping, electrical cable or conduit are not.

7.5.3 Test specimen

Product specimen(s) are installed within a test frame in various configurations depending on the product under test.

7.5.4 Method

The test specimen(s) are placed within a test frame above a 60 kW ignition source for 10 minutes. Smoke and products of combustion are collected by a collection hood and measurements are taken within an attached exhaust duct. The smoke obscuration is measured by a photoelectric cell located within the exhaust duct. A smoke release rate (SRR), and total smoke released (TSR) are calculated using the optical density per linear path length and volumetric flow rate.

When measured, the heat release rate is determined by measuring the oxygen concentration, the flow rate and the temperature in the exhaust duct, using the principles of oxygen consumption.

7.5.5 Repeatability and reproducibility

No specific data on repeatability and reproducibility are publicly available.

7.5.6 Relevance of test data and special observations

This method is used to simulate a specific fire scenario involving a fully developed fire source and normal environmental conditions. This method is used to provide data for the regulatory control of discrete (non-continuous) products used within plenums throughout the USA and Canada. Within ANSI/UL 2043 and CAN/ULC S142, the requirement for peak smoke release rate (SRR_S) measured during each test is $0,21 \text{ m}^2/\text{s}$ or less. The requirement for total smoke released (TSR) in a 10 minute test duration is 75 m^2 or less. When measured, the required peak rate of heat release (HRR_S) measured during each test is 100 kW or less.

8 Overview of methods and relevance of data

The methods outlined in Clauses 6 and 7 are summarised in Table 2, 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 shall 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 (ASTM E662, BS 6401, NF C20-902-1 and -2)	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 (ISO 5659-2)	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 density in a 27 m ³ smoke chamber (IEC 61034-1 and -2, EN 61034-1 and -2)	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
Dynamic	7.2 Determination of smoke density generated by electric cables mounted on a horizontal ladder. (NFPA 262, ULC S102.4, EN 50289-4-11)	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 generated by electrical cables mounted on a vertical ladder. (ASTM D5424, 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 generated by electrical cables mounted on a vertical ladder. (EN 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

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 (continued)	7.4 Determination of smoke opacity using the cone calorimeter. (ISO 5660-1, ASTM E 1354)	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
	7.5 Determination of smoke generated by discrete (non-continuous) products. (ANSI/ULC 2043, CAN/ULC S142)	Discrete (non-continuous) products	No	No	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 Table A.1.

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 – "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 B.1.

Table B.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 (TS, published 1991). Some technical improvements are described in the second and third editions (1997 and 2005).

Annex C (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, as shown in Tables C.1 and C.2.

Table C.1 – Measurements of Peak Optical Density

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

Table C.2 – Measurements of Average Optical Density

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

Bibliography

- [1] IEC 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*
- [2] IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*
- [3] IEC 60695-1-12, *Fire hazard testing – Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire safety engineering*
- [4] ASTM E662, *Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*
- [5] BS 6401, *Method for measurement, in the laboratory, of the specific optical density of smoke generated by materials*
- [6] NF C20-902-1, *Fire hazard testing – Test methods – Determination of smoke opacity without air change – Part 1: Methodology and test devices*
- [7] 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*
- [8] 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*
- [9] ISO 5659-2, *Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test*
- [10] IEC 61034-1, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus*
- [11] IEC 61034-2, *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements*
- [12] Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC
- [13] EN 13501-6, *Fire classification of construction products and building elements – Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on electric cables*
- [14] NFPA 262, *Standard method of test for flame travel and smoke of wires and cables for use in air-handling spaces*
- [15] ULC S102.4, *Test for fire and smoke characteristics of electrical wiring and cables*
- [16] EN 50289-4-11, *Communication cables – Specifications for test methods – Part 4-11: Environmental test methods – A horizontal integrated fire test method*
- [17] 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*

- [18] UL 1685, *Vertical-tray fire-propagation and smoke-release test for electrical and optical-fibre cables*
- [19] EN 50399, *Common test methods for cables under fire conditions – Heat release and smoke production measurement on cables during flame spread test – Test apparatus, procedures, results*
- [20] *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
- [21] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988, *The Construction Products Directive*
- [22] 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*
- [23] European Committee for Electrotechnical Standardization [CENELEC], Technical Committee 20: Electric Cables, “prEN 50399 – Round-Robin evaluation”, TC20/Sec1576/INF, June 2008
- [24] European Commission Decision 2006/751/EC
- [25] ASTM E1354, *Standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter*
- [26] ISO 5660-1, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)*
- [27] UL 2043, *Standard for fire test for heat and visible smoke release for discrete products and their accessories installed in air-handling spaces*
- [28] ULC CAN-S142, *Standard method of fire test for heat and visible smoke release for discrete products*
- [29] FPRF (Fire Protection Research Foundation), Batterymarch Park, Quincy Mass. USA. “International NFPA 262 Fire Test Harmonization Project” FPRF (Fire Protection Research Foundation), Batterymarch Park, Quincy Mass. USA. “International NFPA 262 Fire Test Harmonization Project”
- [30] International Code for Application of Fire Test procedures (IMP FTP Code)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-6-2:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION	38
1 Domaine d'application	39
2 Références normatives	39
3 Termes et définitions	40
4 Types de méthodes d'essai	44
4.1 Généralités	44
4.2 Modèle physique du feu	44
4.3 Méthodes d'essais statiques	44
4.4 Méthodes d'essais dynamiques	44
5 Types d'éprouvettes	46
6 Méthodes d'essais statiques publiées	46
6.1 Généralités	46
6.2 Détermination de l'opacité des fumées dans une chambre de 0,51 m ³	46
6.2.1 Normes utilisant une éprouvette de matériau orientée verticalement	46
6.2.2 Norme utilisant une éprouvette de matériau orientée horizontalement	48
6.3 Détermination de la densité des fumées dans une chambre à fumée de 27 m ³	50
6.3.1 Normes	50
6.3.2 But et principe	50
6.3.3 Éprouvette	50
6.3.4 Méthode	50
6.3.5 Répétabilité et reproductibilité	51
6.3.6 Pertinence des résultats d'essai et observations particulières	51
7 Méthodes d'essais dynamiques publiées	52
7.1 Généralités	52
7.2 Détermination de la densité de la fumée dégagée par des câbles électriques montés sur une échelle horizontale	52
7.2.1 Normes	52
7.2.2 But et principe	52
7.2.3 Éprouvette	52
7.2.4 Méthode	52
7.2.5 Répétabilité et reproductibilité	52
7.2.6 Pertinence des résultats d'essai et observations particulières	52
7.3 Détermination de la fumée générée par des câbles électriques montés sur une échelle verticale	53
7.3.1 Normes ASTM et UL	53
7.3.2 Norme européenne	54
7.4 Détermination de la fumée en utilisant un cône calorimètre	55
7.4.1 Normes	55
7.4.2 But et principe	55
7.4.3 Éprouvettes	55
7.4.4 Méthode	55
7.4.5 Répétabilité et reproductibilité	56
7.4.6 Pertinence des résultats d'essai et observations particulières	57

7.5	Détermination de la fumée dégagée par les produits discrets (non continus).....	57
7.5.1	Normes.....	57
7.5.2	But et principe	57
7.5.3	Éprouvette	57
7.5.4	Méthode	57
7.5.5	Répétabilité et reproductibilité	58
7.5.6	Pertinence des résultats d'essai et observations particulières.....	58
8	Vue d'ensemble des méthodes et pertinence des résultats	58
Annexe A (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – Chambre NBS – Essais interlaboratoires fondés sur les normes françaises NF C20-902-1 et NF C20-902-2		61
Annexe B (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – Chambre de "trois mètres cubes " – Essais interlaboratoires français selon l'IEC 61034-2.....		62
Annexe C (informative) Données sur la répétabilité et la reproductibilité – NFPA 262		63
Bibliographie.....		64
Tableau 1 – Caractéristiques des stades de développement d'un feu (ISO 19706:2011)		45
Tableau 2 – Vue d'ensemble des méthodes d'essais de fumée.....		59
Tableau A.1 – Valeurs de D_m		61
Tableau B.1 – Valeurs du flux lumineux transmis en pourcentage		62
Tableau C.1 – Mesures de la densité optique maximale.....		63
Tableau C.2 – Mesures de la densité optique moyenne		63

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 (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 60695-6-2 a été établie par le comité d'études 89 de l'IEC: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette norme annule et remplace l'IEC 60695-6-2 parue en 2011. Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) mise à jour de l'introduction;
- b) mise à jour des références normatives;
- c) nouveau texte au 4.1;

- d) suppression des références aux IEC 60695-6-30 et -31 (supprimées)
- e) mises à jour en fonction de l'ISO 5659-2;
- f) suppression des références à la BS 6853 et la CEI 20-37-3 (remplacées);
- g) suppression des références à l'ISO/TR 5924 (supprimée);
- h) mise à jour du texte en fonction de l'EN 50399;
- i) mise à jour du texte en fonction de l'ISO 5660-1;
- j) ajout d'un nouveau Paragraphe 7.5
- k) suppression de l'Annexe B;
- l) suppression de l'Annexe E;
- m) ajout de références bibliographiques.

Cette norme doit être utilisée conjointement avec l'IEC 60695-6-1.

Elle a le statut d'une publication fondamentale de sécurité conformément au Guide IEC 104 et au Guide ISO/IEC 51.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1399/FDIS	89/1405/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60695, publiées sous le titre général *Essais relatifs aux risques du feu*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

La partie 6 comprend les parties suivantes:

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

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

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 l'IEC 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

Lors la conception d'un produit électrotechnique, il est nécessaire d'envisager le risque d'incendie et les dangers potentiels associés au feu. Dans cette perspective, l'objectif lors de la conception des composants, des circuits et des équipements ainsi que le choix des matériaux est de réduire le risque d'incendie à un niveau tolérable dans le cas d'une (mauvaise) utilisation, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance raisonnablement prévisible. L'IEC 60695-1-10 [1]¹, l'IEC 60695-1-11 [2] et l'IEC 60695-1-12 [3] fournissent des recommandations pour atteindre cet objectif.

Les incendies impliquant des produits électrotechniques peuvent également être déclenchés par des sources externes non électriques. Les considérations de cette nature sont traitées dans une évaluation globale des dangers d'incendie.

La série IEC 60695 a pour objectif de sauver des vies humaines et de protéger les biens matériels en réduisant le nombre d'incendies ou les conséquences de l'incendie. Pour ce faire, il est possible de:

- tenter de prévenir l'allumage provoqué par un composant sous tension électrique et, en cas d'allumage, de confiner tout incendie en résultant dans les limites de l'enceinte du produit électrotechnique.
- tenter de réduire le plus possible la propagation des flammes au-delà de l'enceinte du produit et de réduire le plus possible les effets dangereux des effluents du feu comprenant la chaleur, la fumée, ainsi que les produits de combustion toxiques ou corrosifs.

L'un des risques y participant est le dégagement de fumée, qui peut entraîner la perte de la vision et/ou une désorientation susceptible d'entraver l'évacuation des immeubles ou la lutte contre l'incendie.

La présente partie de l'IEC 60695 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 donne des recommandations aux comités de produits souhaitant incorporer des méthodes d'essais sur l'obscurcissement par la fumée dans les normes de produit.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

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 l'IEC 60695 donne un résumé des méthodes d'essais couramment utilisées pour évaluer l'obscurcissement par la fumée. Elle présente un résumé des méthodes d'essais dynamiques et statiques communément utilisées, aussi bien comme normes internationales que nationales ou en tant que normes industrielles. Elle inclut des observations particulières relatives à leur pertinence par rapport aux produits électrotechniques et leurs matériaux et à des scénarios d'incendie, et donne des recommandations pour leur utilisation.

Cette publication fondamentale de sécurité doit être utilisée par les comités d'études pour l'établissement de leurs normes conformément aux principes exposés dans le Guide 104 de l'IEC et dans le Guide ISO/IEC 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 ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à 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).

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

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

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

ISO 5660-1:2015, *Essais de réaction au feu – Débit calorifique, taux de dégagement de fumée et taux de perte de masse – Partie 1: Débit calorifique (méthode au calorimètre à cône) et taux de dégagement de fumée (mesurage dynamique)*

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

ISO 19706:2011, *Lignes directrices pour l'évaluation des dangers du feu pour les personnes*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 13943:2008, dont certains sont repris ci-dessous par commodité pour l'utilisateur, ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

Note 1 à l'article: Cette combustion émet généralement des effluents du feu accompagnés de flammes et/ou d'incandescence.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 à l'article: Il s'agit d'une mesure de la quantité de fumée, et elle est exprimée en mètres carrés (m²).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 à l'article: Il est exprimé en mètres à la puissance moins un (m⁻¹).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 à l'article: 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 autoentretenue ayant des significations diverses et deux sont désignés par deux termes différents tant en français qu'en allemand.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.5

feu

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.6**feu**

(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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.105]

3.8**danger d'incendie**

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 à l'article: Il définit typiquement les processus d'allumage et de croissance du feu, le stade de feu complètement développé, le stade de déclin du feu, ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.11**flux de chaleur**

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

Note 1 à l'article: Il est exprimé en watts par mètre carré ($W \times m^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.173]

3.12**allumage****allumage persistant (déconseillé)**

(général) amorçage de la combustion

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.13

allumage

allumage persistant (déconseillé)

(combustion avec flamme) déclenchement d'une flamme persistante

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 1 à l'article: Elle est exprimée en mètres carrés par gramme ($\text{m}^2 \times \text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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 à l'article: En pratique, l'obscurcissement par la fumée est mesuré généralement comme la transmittance, qui est exprimée normalement en pourcentage.

Note 2 à l'article: L'obscurcissement par la fumée provoque une diminution de la visibilité.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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** (3.25)

Note 1 à l'article: La densité optique de la fumée est une grandeur sans dimension.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.251]

3.18

plénum

zone située au-dessus des faux plafonds où se situent les conduits de chauffage, de ventilation ou de climatisation, ainsi que les câbles de communication et autres installations et équipements auxiliaires

3.19

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 1 à l'article: Cet essai suppose que les produits sont utilisés suivant les conditions fixées par le prescripteur et/ou conformément à la pratique normale.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.273]

3.20

essai au feu à petite échelle

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

Note 1 à l'article: 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».

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.292]

3.21

fumée

partie visible des effluents du feu

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.293]

3.22

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 à l'article: 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 à l'article: Il est exprimé en mètres carrés par seconde ($\text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.295]

3.23

vitesse de dégagement de fumée

voir "taux de dégagement de fumée" (3.21)

3.24

surface spécifique d'extinction de la fumée

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

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en mètres carrés par gramme ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.301]

3.25

densité optique spécifique de la fumée

densité optique de fumée multipliée par un coefficient géométrique

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

Note 2 à l'article: 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 à l'article: La densité optique de la fumée est une grandeur sans dimension.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.303]

3.26

visibilité

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

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.350]

4 Types de méthodes d'essai

4.1 Généralités

Dans les cas où les essais au feu ne sont pas encore spécifiés et où il est nécessaire de les développer ou de les modifier pour les besoins particuliers d'un comité d'études IEC, cela doit être fait en lien avec le comité d'études IEC concerné.

La ou les méthodes d'essai sélectionnées doivent être appropriées au scénario d'incendie étudié.

4.2 Modèle physique du feu

La quantité et le taux de dégagement de fumée pour un matériau ou un produit donné ne sont pas des propriétés inhérentes au matériau ou au produit, mais ils dépendent 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 la composition des effluents du feu, et donc la quantité et le taux de dégagement 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 souhaité. L'ISO a publié une classification générale des stades de développement d'un feu dans l'ISO 19706:2011 comme indiqué dans le Tableau 1 ci-après. Les facteurs importants affectant la production de fumée sont la concentration en oxygène et l'éclairement énergétique/la température.

4.3 Méthodes d'essais statiques

Un essai statique de fumée est un essai dans lequel on laisse la fumée produite s'accumuler 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 l'appauvrissement progressif en oxygène.

4.4 Méthodes d'essais dynamiques

Un essai dynamique de fumée est un essai dans lequel un flux continu d'effluents du feu passe au travers du système de mesure sans recirculation. Dans ce type d'essai, on ne laisse pas les particules de fumée s'accumuler; elles sont dispersées dans le flux 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 en refroidissant.

Tableau 1 – Caractéristiques des stades de développement d'un feu (ISO 19706:2011)

Stades de développement d'un feu	Flux de chaleur à la surface du combustible kW/m ²	Température max. °C		Oxygène en % du volume		Rapport d'équivalence combustible/air (panache)	[CO] [CO ₂] v/v	100 × [CO ₂] ([CO ₂] + [CO]) Efficacité %
		À la surface du combustible	Dans la couche supérieure	Entraînée	Évacuée			
1. Sans flammes								
a. feu couvant (autoentretenu)	N/A	450 à 800	25 à 85 ^d	20	20	—	0,1 à 1	50 à 90
b. pyrolyse oxydante due à un rayonnement externe appliqué	—	300 à 600 ^a	b	20	20	< 1	c	c
c. pyrolyse anaérobie due à un rayonnement externe appliqué	—	100 à 500	b	0	0	> > 1	c	c
2. Avec flammes, bien ventilées ^d	0 à 60	350 à 650	50 à 500	≈ 20	≈ 20	< 1	< 0,05 ^e	> 95
3. Avec flammes sous-ventilées ^f								
a. petit feu localisé, en général dans un compartiment 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 post-embrasement généralisé	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 celle d'une combustion avec flammes bien ventilée d'un combustible donné. ^b Il est fortement probable que la température de la pièce où a lieu l'incendie dans la couche supérieure de fumées soit déterminée par la source du rayonnement appliquée extérieurement et par la géométrie de la pièce. ^c Il existe peu de données, mais pour la pyrolyse, il est prévu une large variation de ce rapport en fonction de la composition chimique du matériau ainsi que de la ventilation du local et des conditions thermiques. ^d La consommation en oxygène du feu est faible par rapport à ce qui est présent dans la pièce ou dans l'afflux d'air, le haut de la flamme se trouve sous la couche supérieure de gaz chaud ou la couche supérieure n'a pas encore été vitée de manière significative au point d'augmenter fortement la production de CO, les flammes ne sont pas tronquées par un 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 résistants au feu. Il n'y a pas d'augmentation significative de ce rapport pour des rapports d'équivalence allant jusqu'à ≈ 0,75. Entre ≈ 0,75 et 1, il peut apparaître une certaine augmentation de ce rapport. ^f La demande en oxygène du feu est limitée par l'ouverture (les ouvertures) des ventilations; les flammes s'étendent dans la couche supérieure. ^g Supposé être similaire à un feu bien ventilé avec flammes. ^h Le rapport d'équivalence du panache n'a pas été mesuré; l'utilisation d'un rapport d'équivalence global est inappropriée. ⁱ Des rapports plus faibles ont à l'occasion été mesurés. En général, ils sont dus à une combustion secondaire en dehors des ouvertures 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 examinées dans le présent article ont été sélectionnées parce qu'elles sont normalisées au niveau international, national ou correspondent à des normes industrielles, et parce qu'elles sont habituellement utilisées dans le domaine de l'électrotechnique. Il ne s'agit pas ici de passer en revue toutes les méthodes d'essais possibles.

NOTE Ces résumés donnent une brève description des méthodes d'essais; cependant, des informations détaillées sont données dans les normes 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 orientée verticalement

6.2.1.1 Normes

Quatre normes nationales sont fondées sur des essais sur une éprouvette de matériau orientée verticalement dans une chambre de 0,51 m³ de volume.

NOTE La chambre a été développée aux États-Unis 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: ASTM E662 [1], BS 6401 [5], NF C20-902-1 [6] et NF C20-902-2 [7].

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 orientée verticalement à un éclairage 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 Éprouvette

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 de chaleur de 25 kW/m² sur l'éprouvette montée verticalement. Deux types d'essais sont communément utilisés:

- essai sans flammes, essai où seule la source d'énergie rayonnante est utilisée, ou
- essai avec flammes, 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, ce qui allume les produits de la combustion.

Un dispositif photométrique utilisant une lumière blanche polychromatique, avec un trajet optique 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 la surface exposée de l'éprouvette;

L est la longueur du trajet optique utilisée pour mesurer la fumée;

I est le flux lumineux incident;

T est le flux lumineux transmis.

D_s est relative à la surface 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 utilisée 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 fondé sur les normes françaises NF C20-902-1 et NF C20-902-2.

Les résultats, présentés en conformité avec l'ISO 5725-2 [8], sont donnés à l'Annexe A.

6.2.1.6 Pertinence des résultats d'essai et observations particulières

Les méthodes d'essais fondées 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 limitations importantes de la méthode NBS décrites ci-après:

- Le flux de chaleur est relativement faible et la quantité d'air disponible limitée, ce qui signifie que la méthode est seulement capable de reproduire les conditions correspondant au stade de développement du feu 1 b) et, éventuellement, au stade 2 de l'ISO 19706 (voir Tableau 1).
- L'éprouvette est petite, montée verticalement, et est essentiellement plate, ce qui limite le domaine d'application de la méthode à la seule évaluation des matériaux et exclut les liquides et certains matériaux thermoplastiques. Les éprouvettes qui se boursoufflent du côté du four occasionnent également des difficultés du fait que le flux de chaleur incident reçu sur l'avant de 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 de chaleur 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 d'incendie.

D'autres limitations pour les méthodes fondées sur la chambre à fumée NBS sont indiquées ci-après:

- d) La corrélation entre les résultats provenant de cet essai et le comportement des produits au cours d'incendies ou d'essais au feu en grandeur réelle est faible ou inexistante.
- 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 de la méthode ont été étudiées plusieurs fois; elles s'avèrent très faibles (voir l'Annexe A) et dépendent de la nature du matériau 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 des résultats 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 de chaleur.

Il n'est pas recommandé d'utiliser les résultats obtenus pour évaluer des dangers d'incendie ou pour les études d'ingénierie de sécurité incendie.

En général, cette méthode n'est pas recommandée pour de nouveaux développements de produits électrotechniques. De même, il n'est pas recommandé de se fonder 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.

NOTE L'IEC TR 60695-6-30 et l'IEC 60695-6-31, qui utilisaient cette méthode d'essai, ont été supprimées fin 2015 en raison des inconvénients de cette méthode.

6.2.2 Norme utilisant une éprouvette de matériau orientée horizontalement

6.2.2.1 Norme

Une Norme internationale, l'ISO 5659-2 [9], 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 par une éprouvette d'essai d'un matériau placée horizontalement, exposée à un éclairage 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 essentiellement identique à celui décrit en 6.2.1, à l'exception des modifications de la source d'éclairage thermique et de l'orientation de l'éprouvette.

6.2.2.3 Éprouvette

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

6.2.2.4 Méthode

Cette méthode d'essai utilise l'énergie rayonnée 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, en fonction de l'utilisation ou non d'une flamme pilote d'un petit brûleur à gaz.

La chambre d'essai est une chambre 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 de chaleur 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 de fumée 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 l'équation 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 la surface exposée de l'éprouvette;

L est la longueur du trajet optique utilisée pour mesurer la fumée;

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

La formule suivante relie D_{s10} à la surface 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:

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

où

T est la transmittance en pourcentage;

Δm est la masse consommée.

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

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

6.2.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Le Tableau B.1 et le Tableau B.2 de l'ISO 5659-2:2016 donnent les répétabilités et les reproductibilités de D_{s10} pour cinq matières plastiques et cinq matériaux de construction, dérivées conformément à l'ISO 5725:1986.

Un essai interlaboratoire supplémentaire réunissant dix laboratoires a été effectué pour deux matières plastiques intumescents (revêtement de sol en polycarbonate et 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 dans le Tableau D.1 et dans le Tableau D.2 de l'ISO 5659-2:2016.

6.2.2.6 Pertinence des résultats d'essai et 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 essentiellement plates. Les éprouvettes qui se boursoufflent se déplaceront vers la source de chaleur et seront sujettes à des flux de chaleur non normalisés.
- b) Le flux de chaleur maximal est augmenté jusqu'à 50 kW/m^2 , ce qui signifie que la méthode est susceptible de répliquer un stade de développement du feu 3a) selon l'ISO 19706, en plus des stades 1b) et 2 (voir Tableau 1). Ce flux de chaleur 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 danger ou pour calculer la densité optique massique. Les résultats obtenus peuvent convenir comme base pour l'évaluation des dangers d'incendie ou pour les études d'ingénierie de sécurité incendie.
- d) Une méthode d'essai pour les matériaux intumescent 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 réglementaires par l'Organisation Maritime Internationale [30]. Elle n'est pas recommandée comme base de contrôle réglementaire pour les produits électrotechniques, à moins que le produit électrotechnique à soumettre à l'essai n'entre dans les limites de la géométrie des éprouvettes.

6.3 Détermination de la densité des fumées dans une chambre à fumée de 27 m^3

6.3.1 Normes

Quatre normes internationales sont fondées sur l'utilisation d'une chambre à fumée de 27 m^3 ($3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$). Il s'agit de l'IEC 61034-1 [10] et l'IEC 61034-2 [11]. La chambre est souvent désignée sous le nom de "trois mètres cubes".

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 Éprouvette

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 m^3 . 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 réduire le plus possible 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 principalement pour les câbles, les valeurs de densité optique (appelées A_m) sont calculées avec l'équation qui suit:

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

NOTE A_m est aussi incorrectement appelée «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 trajet optique (3 m);

n est le nombre d'échantillons d'essai.

La surface 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 l'IEC 61034-2. Les résultats, présentés selon l'ISO 5725-2, sont fournis à l'Annexe B.

6.3.6 Pertinence des résultats d'essai et 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 d'incendie (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 stade de développement du feu 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 dangers d'incendie ou pour les études d'ingénierie de sécurité incendie, mais peuvent convenir à d'autres procédures.

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.

Dans certains pays, cette méthode est utilisée comme base pour les contrôles réglementaires. Dans l'Union européenne, l'IEC 61034-2 est exigée par le Règlement Produits de Construction [12] pour certaines des classifications supplémentaires relatives aux câbles électriques selon la définition donnée dans l'EN 13501-6 [13].

7 Méthodes d'essais dynamiques publiées

7.1 Généralités

Les méthodes d'essais dynamiques examinées ci-dessous ont été sélectionnées parce qu'elles sont normalisées au niveau international, national ou correspondent à des normes industrielles, et parce qu'elles sont habituellement utilisées dans le domaine de l'électrotechnique. Il ne s'agit pas de passer en revue toutes les méthodes d'essais possibles.

NOTE Ces résumés donnent une brève description des méthodes d'essais; cependant, des informations détaillées sont données dans les normes 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 [14], ULC S102.4 [15], et EN 50289-4-11 [16].

7.2.2 But et principe

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

7.2.3 Éprouvette

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 flux d'air forcé est appliqué d'une extrémité à l'autre du tunnel à distance de la source d'allumage. Pendant l'essai, les valeurs maximale et moyenne de la densité optique de la fumée sont mesurées 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 C.

7.2.6 Pertinence des résultats d'essai et observations particulières

Cette méthode est utilisée pour simuler un scénario d'incendie 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 le stade de développement du feu 3b) de l'ISO 19706 (voir Tableau 1).

Cette méthode est utilisée pour fournir des résultats pour les contrôles réglementaires 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 ASTM et UL

7.3.1.1 ASTM D5424 et UL 1685

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 [17] et de l'UL 1685 [18].

7.3.1.2 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, le taux de dégagement et la quantité totale de la fumée dégagée sont calculés. Dans certains cas, la perte de masse et le dégagement de chaleur peuvent aussi être mesurés.

7.3.1.3 Éprouvettes

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

7.3.1.4 Méthode

L'échelle supportant les câbles est fixée 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.

Un taux de dégagement de la fumée (SRR) est calculé en utilisant le coefficient d'extinction dans le conduit et le débit volumétrique.

7.3.1.5 Répétabilité et reproductibilité

Il n'existe pas de résultat disponible.

7.3.1.6 Pertinence des résultats d'essai et 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 stade de développement du feu 2 selon l'ISO 19706 (voir Tableau 1).

Cette méthode convient pour des perspectives de développements de 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 États-Unis et au Canada.

7.3.2 Norme européenne

7.3.2.1 EN 50399

Il existe une Norme européenne qui prévoit l'utilisation d'une échelle verticale et qui concerne la mesure des fumées. Il s'agit de l'EN 50399 [19].

7.3.2.2 But et principe

L'EN 50399 spécifie l'appareillage d'essai et les procédures d'essai pour l'évaluation de performance des câbles au niveau de la réaction au feu. Elle a été développée à partir du programme de recherche FIPEC (*Fire Performance of Electrical Cables*) [20] en réponse à la Directive Produits de Construction (DPC) [21] pour permettre une classification selon cette directive.

NOTE La directive DPC est à présent transformée en Règlement européen Produits de Construction [12].

La méthode d'essai décrit un essai au feu 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 traite du danger de propagation des flammes le long du câble, de la probabilité que le feu affecte les zones adjacentes au compartiment d'origine par la mesure du débit calorifique, ainsi que du 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 flammes, débit calorifique, dégagement total de chaleur, taux de dégagement de fumée, production totale de fumée, indice de croissance du feu et l'apparition de gouttelettes/particules enflammées.

L'appareillage est basé sur celui de l'EN 60332-3-10 mais avec des modifications 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 modifications de montage rendent les comparaisons avec les essais de l'EN 60332-3-10 impossibles.

NOTE 2 La norme IEC qui correspond à l'EN 60332-3-10 est l'IEC 60332-10 [24].

L'EN 50399 contient deux protocoles. Dans l'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 le taux maximal de dégagement de fumée.

7.3.2.3 Éprouvettes

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.