

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**Fire hazard testing –
Part 8-2: Heat release – Summary and relevance of test methods**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 8-2: Dégagement de chaleur – Résumé et pertinence des méthodes
d'essais**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

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



TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**Fire hazard testing –
Part 8-2: Heat release – Summary and relevance of test methods**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 8-2: Dégagement de chaleur – Résumé et pertinence des méthodes
d'essais**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions	7
4 Summary of test methods	9
4.1 Measurement of complete combustion	10
4.1.1 The bomb calorimeter	10
4.2 Measurements of incomplete combustion.....	11
4.2.1 Cone calorimeter	11
4.2.2 The Ohio State University calorimeter	12
4.2.3 Vertical cable ladder tests	13
4.2.4 SBI test	15
4.2.5 Horizontal cable ladder test.....	17
4.2.6 Open calorimetry fire tests	19
Bibliography.....	20
Table 1 – Summary and comparison of vertical cable ladder tests.....	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –**Part 8-2: Heat release –
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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60695-8-2, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This second edition cancels and replaces the first edition of IEC 60695-8-2/TS published in 2000 and constitutes a technical revision.

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

- editorial changes throughout;

- revised terms and definitions;
- introduction of a new Subclause 4.1.1 – Bomb calorimeter;
- introduction of a new Table 1 dealing with vertical ladder tests;
- introduction of a new Subclause 4.2.4 – SBI test method;
- introduction of a new Subclause 4.2.6 – Open calorimetry fire tests.

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

This technical report is to be used in conjunction with IEC 60695-8-1.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
89/808/DTR	89/830A/RVC

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

In the design of any 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 to acceptable levels the potential risks of fire even in the event of foreseeable abnormal use, malfunction or failure. IEC 60695-1-10 [1] ¹⁾, together with its companion, IEC 60695-1-11 [2] , provide guidance on how this is to be accomplished.

The primary aims are as follows:

- 1) to prevent ignition caused by an electrically energized component part, and
- 2) in the event of ignition, to confine any resulting fire within the bounds of the enclosure of the electrotechnical product.

Secondary aims include the minimization of any flame spread beyond the product's enclosure and the minimization of harmful effects of fire effluents including heat, smoke and toxic or corrosive combustion products.

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

Fires are responsible for creating hazards to life and property as a result of the generation of heat (thermal hazard), toxic and/or corrosive compounds and obscuration of vision due to smoke. Fire risk increases as the heat released increases, possibly leading to a flash-over fire.

One of the most important measurements in fire testing is the measurement of heat release and it is used as an important factor in the determination of fire hazard; it is also used as one of the parameters in fire safety engineering calculations.

The measurement and use of heat release data, together with other fire test data, can be used to reduce the likelihood of (or the effects of) fire, even in the event of foreseeable abnormal use, malfunction or failure of electrotechnical products.

When a material is heated by some external source, fire effluent can be generated and can form a mixture with air which can ignite and initiate a fire. The heat released in the process is carried away by the fire effluent-air mixture, radiatively lost or transferred back to the solid material, to generate further pyrolysis products, thus continuing the process.

Heat may also be transferred to other nearby products, which may burn, and then release additional heat and fire effluent.

The rate at which thermal energy is released in a fire is defined as the heat release rate. Heat release rate is important because of its influence on flame spread and on the initiation of secondary fires. Other characteristics are also important, such as ignitability, flame spread and other side effects of the fire (see the IEC 60695 series of standards).

1) Figures in square brackets refer to the bibliography.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 8-2: Heat release – Summary and relevance of test methods

1 Scope

This part of IEC 60695 presents a summary of published test methods that are relevant to determine heat release for electrotechnical products. It represents the current state of the art of the test methods and, where available, includes special observations on their relevance and use. The list of test methods is not to be considered exhaustive, and test methods which were not developed by IEC/TC 89 are not to be considered as endorsed by IEC TC89 unless this is specifically stated.

Heat release data can be used as part of fire hazard assessment and in fire safety engineering, as discussed in IEC 60695-1-10 [1] and IEC 60695-1-11 [2].

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

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications. The requirements, test methods or test conditions of this basic safety publication will not apply unless specifically referred to or included in the relevant publications.

2 Normative references

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

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

IEC 60695-8-1:2001, *Fire hazard testing – Part 8-1: Heat release – General guidance*

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

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

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply. Other terms and definitions are as given in IEC 60695-4 and ISO 13943.

3.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

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

[ISO/IEC 13943, definition 23 modified]

3.2

combustion products

solid, liquid and gaseous material resulting from combustion

NOTE Combustion products may include fire effluent, ash, char, clinker and/or soot.

3.3

complete combustion

combustion in which all the combustion products are fully oxidized

NOTE 1 This means that when the oxidizing agent is oxygen, all carbon is converted to carbon dioxide and all hydrogen is converted to water.

NOTE 2 If elements other than carbon, hydrogen and oxygen are involved in the combustion process, then it may not be possible to uniquely define complete combustion.

3.4

controlled fire

fire which has been deliberately arranged to provide useful effects and which is controlled in its extent in time and space

3.5

effective heat of combustion

heat released from a burning test specimen in a given time interval divided by the mass lost from the test specimen in the same time period

NOTE 1 It is the same as the net heat of combustion if all the test specimen is converted to volatile combustion products and if all the combustion products are fully oxidized.

NOTE 2 The typical units are $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

3.6

fire

process of combustion characterized by the emission of heat and fire effluent accompanied by smoke, and/or flame, and/or glowing

3.7

fire effluent

totality of gases and/or aerosols (including suspended particles) created by combustion or pyrolysis

[ISO/IEC 13943, definition 45]

3.8

fire hazard

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

3.9

fire safety engineering

application of engineering methods based on scientific principles for the development or assessment of designs in the built environment through the analysis of specific fire scenarios or through the quantification of risk for a group of fire scenarios

3.10

fire test

procedure designed to measure or assess either fire behaviour or the response of a test specimen to one or more aspects of fire

3.11

flash-over

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

[ISO/IEC 13943, definition 77]

3.12

gross heat of combustion

heat of combustion of a substance when the combustion is complete and any produced water is entirely condensed under specified conditions

[ISO/IEC 13943, definition 86.2]

3.13

heat of combustion

thermal energy produced by combustion of unit mass of a given substance

NOTE The typical units are $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

See also 3.5, 3.12 and 3.18.

3.14

heat release

thermal energy which is produced in a fire or fire test

NOTE The typical units are joules.

3.15

heat release rate

thermal energy released per unit time in a fire or fire test

NOTE The typical units are watts.

3.16

intermediate-scale fire test

fire test performed on a test specimen of medium dimensions

NOTE This definition usually applies to a fire test performed on a test specimen of which the maximum dimension is between 1 m and 3 m.

3.17

large-scale fire test

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

NOTE This definition usually applies to a fire test performed on a test specimen of which the maximum dimension is greater than 3 m.

3.18**net heat of combustion**

heat of combustion when any water produced is considered to be in the gaseous state

NOTE The net heat of combustion is always smaller than the gross heat of combustion because the heat released by the condensation of the water vapour is not included.

3.19**oxidation**

chemical reaction in which the proportion of oxygen or other electronegative element in a substance is increased

NOTE In chemistry, the term has the broader meaning of a process which involves the loss of an electron or electrons from an atom, molecule or ion.

3.20**oxidizing agent**

substance capable of causing oxidation

NOTE Combustion is an oxidation.

3.21**oxygen consumption principle**

proportional relationship between the mass of oxygen consumed during combustion and the heat released

NOTE A value of $13,1 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ is commonly used.

3.22**pyrolysis**

chemical decomposition of a substance by the action of heat

NOTE 1 The term is often used to refer to a stage of fire before flaming combustion has occurred.

NOTE 2 In fire science, no assumption is made about the presence or absence of oxygen.

3.23**small-scale fire test**

fire test performed on a test specimen of small dimensions

NOTE This definition usually applies to a fire test performed on a test specimen of which the maximum dimension is less than 1 m.

3.24**test specimen**

item subjected to a procedure of assessment or measurement

NOTE In a fire test, the item may be a material, product, component, element of construction, or any combination of these. It may also be a sensor which is used to simulate the behaviour of a product.

3.25**uncontrolled fire**

fire which spreads uncontrolled in time and space

4 Summary of test methods

This summary does not replace published standards which are the only valid reference documents.

4.1 Measurement of complete combustion

4.1.1 The bomb calorimeter

4.1.1.1 Test method

ISO 1716 [3]

4.1.1.2 Purpose and principle

The purpose of the method is to measure the gross heat of combustion at constant volume. A test specimen of specified mass is burned under standardized conditions, at constant volume, in an atmosphere of oxygen, in a sealed calorimeter calibrated by combustion of certified benzoic acid. The heat of combustion determined under these conditions is calculated on the basis of the observed temperature rise, taking into account heat loss and the latent heat of vaporization of water.

4.1.1.3 Test specimen

The test specimen is typically a mixture of 0,5 g of finely powdered benzoic acid and, also in a finely divided state, 0,5 g of the material under test.

4.1.1.4 Test method

The "bomb" is a central vessel that is sufficiently strong to withstand high pressures so that its internal volume remains constant. The bomb is immersed in a stirred water bath, and the combination of bomb and water bath is the calorimeter. The calorimeter is also immersed in an outer water bath. During a combustion reaction, the temperature of the water in the calorimeter and in the outer water bath is continuously monitored and adjusted by electrical heating to the same value. This is to ensure that there is no net loss of heat from the calorimeter to its surroundings, i.e. to ensure that the calorimeter is adiabatic.

To carry out a measurement, a test specimen, consisting of a known mass of benzoic acid mixed with a known mass of test material, is placed in a crucible inside the bomb in contact with an electrical ignition wire. The vessel is filled with oxygen under pressure (3,0 MPa to 3,5 MPa), sealed and allowed to attain thermal equilibrium. The sample is then ignited using a measured input of energy. Combustion is complete because it takes place in an excess of high pressure oxygen. The heat released is calculated from the known heat capacity of the calorimeter and the rise of temperature that occurs as a result of the combustion reaction.

The experiment gives the heat released at constant volume, i.e. the change in internal energy, ΔU . The gross heat of combustion at constant pressure is the enthalpy change, ΔH , where

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

$\Delta(PV)$ is calculated using the ideal gas law;

$$\Delta(PV) = \Delta(nRT) \quad [R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}]$$

In order to calculate ΔH , it is necessary to be able to define the nature of the combustion reaction, i.e. to know the chemical composition of the combustion products. This will not always be known. However, the difference between ΔU and ΔH is normally small and can be ignored for most fire science purposes. For example, in the case of carbon burning to form carbon dioxide.

$$\Delta U = -32,76 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1} \quad \text{and} \quad \Delta H = -32,97 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}.$$

The net heat of combustion can be calculated if the hydrogen content of the test specimen is known. It is assumed that all the hydrogen is converted into water and the calculation uses a value of 2,449 kJ·g⁻¹ for the latent heat of vaporization of water at 25 °C.

4.1.1.5 Repeatability and reproducibility

An interlaboratory exercise was conducted by CEN/TC 127 and the results are summarized in Annex B of ISO 1716 [3].

4.1.1.6 Relevance of test data

When measuring the heat of combustion in an oxygen bomb calorimeter, the entire sample is completely converted to fully oxidized products. In fires this is rarely the case because some potentially combustible material is often left as char and products of combustion are often only partly oxidized, for example, soot particles in smoke, and carbon monoxide. Heat release in a fire will therefore normally be less than the theoretical maximum that can be calculated from heat of combustion data.

Heat of combustion data are fundamental to the science of thermochemistry and are of great importance in fire modelling and fire safety engineering.

In Europe, under the Construction Products Directive [4], materials are classified as non-combustible if they have a gross heat of combustion of less than 2 kJ·g⁻¹ as measured in a bomb calorimeter according to ISO 1716.

4.2 Measurements of incomplete combustion

4.2.1 Cone calorimeter

4.2.1.1 Test methods

See ISO 5660-1 [5] and ASTM E1354 [6]

4.2.1.2 Purpose and principle

This small-scale test method for determining heat release is based on the oxygen consumption technique. It incorporates a load cell for mass loss determinations, a test specimen holder, a conical heater for applying a uniform flux to the test specimen surface and oxygen consumption measurement equipment.

This test method provides measurements of the rate of heat release, including peak and average values, total heat release, effective heat of combustion, mass loss, time to ignition and smoke obscuration. The exposures are made with and without spark ignition.

The external heat flux may be varied from 0 kW·m⁻² to 100 kW·m⁻².

4.2.1.3 Test specimen

The specimen holder can accommodate test specimens up to 100 mm by 100 mm by 50 mm thick. The normal orientation is horizontal, but vertical specimen holders also permit exposure in a vertical orientation.

NOTE Although wires and cables can be installed in the test specimen holder and tested, no relationship to large-scale tests has been confirmed.

4.2.1.4 Test method

During the test, a test specimen is exposed to a specified radiant flux from an electrical conical heater. Piloted ignition is achieved by using an external spark, which is moved over the test specimen until ignition occurs. The heat release rate is assessed by measuring the oxygen concentration in the exhaust duct and by using the principle of oxygen consumption (see Subclause 4.1 and IEC 60695-8-1).

4.2.1.5 Repeatability and reproducibility

Interlaboratory evaluation tests have been conducted on building products and on plastic materials. Details are available in ASTM RR E05-1008 [7].

Other interlaboratory evaluation tests have been conducted on building products and plastic materials (see Clauses B.1 to B.3 of ISO 5660-1 [5]) and on plastic materials which intumesce under heat exposure (see ISO 5660-1, Clause B.4).

No interlaboratory evaluation data are currently available on electrotechnical products.

ASTM D6113 [8] has been published as a test method on wires and cables.

4.2.1.6 Relevance of test data

Data obtained from these tests may be used as input to evaluate the contribution to the overall fire hazard, as input into fire safety engineering calculations, and for research and product development.

It should be noted that the testing of test specimens takes place in well ventilated conditions.

4.2.2 The Ohio State University calorimeter

4.2.2.1 Test method

See ASTM E906 [9].

4.2.2.2 Purpose and principle

This test method provides measurements of the rate of heat release based on the temperature measurement technique. It includes peak and average values, total heat release, time to ignition and smoke obscuration from materials and products.

The test specimens are exposed to radiant energy, with or without piloted ignition via a small flame.

The external heat flux may be varied from 0 kW·m⁻² to 100 kW·m⁻².

4.2.2.3 Test specimen

The test specimen holder can accommodate test specimens up to 150 mm by 150 mm by 50 mm thick. The normal orientation is vertical, but horizontal specimen holders also permit exposure in a horizontal orientation.

4.2.2.4 Test method

The test specimen is placed in a test chamber through which there is a constant air flow. The surface of the test specimen is exposed to a radiant energy source. Combustion may be initiated by non-piloted or piloted ignition of the gases evolved.

The changes in temperature of the gases leaving the chamber are continuously monitored and the heat release rate is calculated from these data.

4.2.2.5 Repeatability and reproducibility

Data have been obtained by the ASTM Task Group for Ohio State University RHR Calorimetry, refer to ASTM E-5.21.34.

4.2.2.6 Relevance of test data

Data from these tests may be used as input to evaluate the contribution to the overall fire hazard, as input into fire safety engineering calculations and for research and product development.

The test method is also used by the USA Federal Aviation Authority to assess the compliance of aircraft cabin materials with Federal Aviation Regulations [10].

4.2.3 Vertical cable ladder tests

NOTE A summary and comparison of vertical cable ladder tests which incorporate heat release measurements is given in Table 1.

4.2.3.1 ASTM and UL test methods

See ASTM D5537 [11] and UL 1685 [12].

4.2.3.1.1 Purpose and principle

These two test methods are substantially similar, but each contains two protocols. These test methods are used to determine flame propagation, heat release rate and total heat release from burning cables, and can also be used to assess smoke obscuration, mass loss and combustion gas release.

The ignition source is a propane gas premixed burner, set at typically 20 kW, either perpendicular to the vertical cable test specimen, or at an angle of 20° to the vertical. The cables are mounted on a vertical ladder, in configurations and loadings that depend on the test requirements.

4.2.3.1.2 Test specimens

The test specimens are manufactured lengths of cables 2,44 m in length.

4.2.3.1.3 Test method

The cables are mounted on a vertical ladder in an appropriate configuration. The propane gas burner is placed near the bottom of the vertical cable ladder (at a different location in each protocol). 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 smoke and combustion products released are also measured in the exhaust duct.

4.2.3.1.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

A interlaboratory evaluation of the ASTM D5537 test method was initiated by ASTM committee D09 on Electrical and Electronic Insulation, but was not completed.

4.2.3.1.5 Relevance of test data

Data from these tests may be used as input to evaluate the contribution of wires and cables to the overall fire hazard, and as input to fire safety engineering calculations.

4.2.3.2 EN test method

See EN 50399 [13].

4.2.3.2.1 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 [14] in response to the European Construction Products Directive (CPD) [4] to enable classification under the CPD to be achieved.

The test method describes an intermediate scale fire test of multiple cables mounted on a vertical cable ladder and is carried out with a specified ignition source to evaluate the burning behaviour of such cables and enable a direct declaration of performance. The test provides data for the early stages of a cable fire from ignition of cables. 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 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 50266-1 [15] but with additional instrumentation to measure heat release and smoke production during the test.

NOTE The IEC standard which corresponds to EN 50266-1 is IEC 60332-3-10 [16].

EN 50399 contains two protocols. In one protocol the flame ignition source has a mass flow of propane of $442 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 10 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ and the air flow is $1\,550 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 140 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ (a nominal power of 20,5 kW). This is used for classifications B2_{ca}, C_{ca} and D_{ca}. In the other protocol, the flame ignition source has a mass flow of propane of $647 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 15 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ and the air flow is $2\,300 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 140 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ (a nominal power of 30 kW). This is used for classification B1_{ca}.

4.2.3.2.2 Test specimens

The test specimens are manufactured lengths of cables having a minimum length of 3,5 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.

4.2.3.2.3 Test method

The cables are mounted on the front of a vertical ladder in the appropriate configuration. The lower part of the cables extends approximately 50 cm under the burner. 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 (see 3.21).

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

The volume flow rate in the exhaust duct is set to between $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ to $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. This flow rate is maintained during the test.

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.

In the case of testing for class B1_{ca}, a non-combustible calcium silicate board is placed behind the ladder.

4.2.3.2.4 Repeatability and reproducibility

An interlaboratory test to assess repeatability and reproducibility has been carried out during the second quarter of 2007.

4.2.3.2.5 Relevance of test data

The test was developed in Europe in response to the European Construction Products Directive, and is required for four of the classes defined by the European Commission [17]. 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 [14] 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. Compared with existing test methods described in EN 50266 and the various parts of IEC 60332-3, they enable a more comprehensive assessment system, which is both more precise and sensitive, and enables a wider range of fire performance levels.

4.2.4 SBI test

4.2.4.1 Test method

See EN 13823 [18].

4.2.4.2 Purpose and principle

The SBI test is a reaction to fire test for essentially flat building products (excluding flooring) in which the product, in a corner configuration, is exposed to the radiation and flames from a defined single burning item (SBI) modelled by a propane fuelled sand-box burner placed at the bottom internal corner of the test specimen. The SBI test method is unsuitable for cables. A note in the scope of the standard states that "The treatment of some families of products, e.g. linear products (pipes, ducts, cables etc) can need special rules."

The test specimen is mounted on a trolley that is positioned in a frame beneath an exhaust system. The reaction of the test specimen to the burner is monitored instrumentally and visually. Flame spread, heat release and smoke production are all measured.

4.2.4.3 Test specimen

The corner test specimen consists of two wings (long and short) of maximum thickness 200 mm, mounted at 90 ° to each other. The short wing is 495 mm × 1 500 mm, and the long wing is 1 000 mm × 1 500 mm. Calcium silicate backing board panels are used to back both specimen wings. They are placed either directly against the free-standing test specimen or at a distance from it.

Table 1 – Summary and comparison of vertical cable ladder tests

	ASTM D 5537 [11] Protocol A UL 1685 [12] UL 1581-1160 Protocol	ASTM D 5537 [11] Protocol B UL 1685 [12] UL 1581-1164 Protocol	EN 50399 [13]
	a)	a)	
Burner power / kW (approx.)	21	21	20,5 or 30
Flame application time / min	20	20	20
Burner placement ^{b)}	457 mm 76 mm in back	305 mm 76 mm in front	600 mm 75 mm in front
Angle of burner	Horizontal	20 ° upwards	Horizontal
Ladder length / m	2,44	2,44	3,5
Ladder width / m	0,305	0,3	0,5
Test specimen length / m	2,44	2,44	3,5 min
Width of test specimen / m and mounting techniques	0,15 Front only	0,25 Front only	Between 0,22 and 0,32 Front only
Cables to be bundled	No	If $D < 13$ mm	If $D \leq 5$ mm
Test enclosure specified	Yes	Yes	Yes
Test runs needed	1	1	1
Maximum char length from bottom / m	2,44 (UL) No requirement (ASTM)	1,805 (UL) ^{c)} No requirement (ASTM)	No requirements are given in the test method ^{d)}
Heat release measurement	Optional (UL) Mandatory (ASTM)	Optional (UL) Mandatory (ASTM)	Mandatory

a) Both UL 1685 and ASTM D 5537 contain 2 test protocols. Protocol A of ASTM D 5537 is equivalent to the UL 1581-1160 protocol of UL 1685, and protocol B of ASTM D 5537 is equivalent to the UL 1581-1164 protocol of UL 1685. ASTM D5424 [19] is the same as ASTM 5537 except that smoke release is the mandatory measurement, and heat release, mass loss, toxic gases and char length are optional measurements. In ASTM D5537, heat release, mass loss and char length are mandatory, and smoke and toxic gases are optional measurements. ASTM fire test standards do not contain pass/fail criteria. When a cable is tested to UL 1685 and meets the flame spread, heat release and smoke release criteria, it is classified as a "limited smoke" cable.

b) Height above the bottom, and distance from the test specimen surface.

c) A maximum char length of 1,5 m is measured from the horizontal height line of the burner.

d) Requirements are given in Table 4 of the European Commission Decision 2006/751/EC [17].

4.2.4.4 Test method

The test specimen is exposed to the flames from a sand-box burner placed at the bottom of the internal corner. The flames are obtained by combustion of propane gas giving a heat output of $30,7 \text{ kW} \pm 2,0$.

Data are recorded over a time period of 26 min and the performance of the test specimen is evaluated over an interval of 20 min within this time period. The performance parameters of the test specimen are: heat release, smoke production, lateral flame spread, and falling flaming droplets and particles.

The short period before ignition is used to measure the heat and smoke output of the burner, using an identical auxiliary burner away from the test specimen.

An important heat release parameter, used for classification purposes, is the Fire Growth Rate (FIGRA) index. This is defined as the maximum of the quotient $HRR_{av}(t)/(t - 300 \text{ s})$, where $HRR_{av}(t)$ is the 30 s moving average of the heat release rate.

4.2.4.5 Repeatability and reproducibility

A interlaboratory test series was carried out in 1997. It was conducted by 15 laboratories, testing 30 products three times. Results are given in Annex B of EN 13823.

A second interlaboratory test series was reported in January 2005 [20]. It was conducted by 30 European laboratories, testing 9 different construction products.

4.2.4.6 Relevance of test data

The test was developed in Europe in response to the European Construction Products Directive, and is required for four of the classes defined by the European Commission. The test was designed to predict performance in the full-scale test, ISO 9705 [21], which is the reference scenario. Test data allow member states of the EU to use, for the first time, a harmonized system for classifying the reaction to fire performance of construction products.

4.2.5 Horizontal cable ladder test

4.2.5.1 Test method

See EN 50289-4-11 [22].

4.2.5.2 Purpose and principle

The test method specifies a horizontal fire test method for the determination of flame propagation distance, optical smoke density, total heat release, heat release rate, time to ignition and flaming droplets/particles for communication cables. The cables are tested in a representative installed condition.

The ignition source is a dual port methane gas diffusion flame burner, set at typically $88 \text{ kW} \pm 2 \text{ kW}$. The test flame extends downstream to a distance of 1,37 m over one end of the test specimen, with negligible upstream coverage.

NOTE 1 The test apparatus is based on the NFPA 262 test [23] (also known as UL 910), but heat release rate measurement is mandatory in the EN test, whereas it is an optional measurement in the NFPA test.

NOTE 2 The development of NFPA 262/UL 910 has been reviewed [24].

4.2.5.3 Test chamber

The test chamber is 8,9 m long and its internal dimensions are 451 mm ± 6 mm wide and 305 mm ± 6 mm high. The base and sides are lined with insulating refractory bricks, and the top cover is a nominal 50 mm thick mineral composition insulation. One side of the chamber is provided with a row of observation windows.

NOTE The chamber is often referred to as the “Steiner tunnel”.

4.2.5.4 Cable tray ladder

The ladder-type cable tray used to support the open-cable test specimens or the cables-in-tray test specimens is 7 300 mm ± 51 mm long and 305 mm ± 3 mm wide. Each rung is 286 mm ± 3 mm long. The ladder is mounted horizontally and centrally in the test chamber about 200 mm above the floor of the chamber.

4.2.5.5 Test specimens

The test specimens are 7 320 mm ± 152 mm lengths of cables installed in a single layer on the cable tray ladder. The cable lengths are laid in parallel, straight rows without any space between them.

4.2.5.6 Test method

The cables are mounted on the horizontal ladder in a single layer and placed in the chamber. The air flow is controlled by an air-inlet shutter and an exhaust duct damper. The air flow is maintained at $1,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,025 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The test flame is ignited and the data acquisition system is started. The test is continued for 20 min.

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 optical density of the smoke is also measured in the exhaust duct.

Data reported includes the following: the maximum flame travel distance, peak and average optical density of smoke, smoke release rate, peak smoke release rate, total smoke released, peak heat release rate, and total heat release.

4.2.5.7 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

4.2.5.8 Relevance of test data

This test is one of the most severe cable fire tests and was developed to test plenum cables.

NOTE A plenum is an area located above false ceilings where heating, ventilating or air-conditioning ducts are located, as well as communication cables and other utilities.

Some of the data from these tests may be used as input to evaluate the contribution of communication cables to the overall fire hazard, and as input to fire safety engineering calculations.

4.2.6 Open calorimetry fire tests

ISO 24473 [25] specifies a family of test methods that simulate a real scale fire on a test object or group of objects under well-ventilated conditions. A range of different fire sizes can be studied according to the scale of the equipment available.

Information is given on how to evaluate the contribution to fire growth provided by an object or group of objects using a specified ignition source. The test methods provide data for all stages of a fire that exclude the effects of feedback from any surrounding structure. They can also be used to provide comparative data on fire behaviour for different products or assemblies, in terms of the production of heat, smoke and combustion gases, and to provide data for input to mathematical modelling studies.

ISO 24473 is applicable to the study of electrotechnical products when they are being considered as a victim of an external heat source.

Bibliography

- [1] IEC 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidance* (under consideration)
- [2] IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment* (under consideration)
- [3] ISO 1716:2002, *Reaction to fire tests for building products – Determination of the heat of combustion*
- [4] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988, *The Construction Products Directive*
- [5] ISO 5660-1:2002, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*
- [6] ASTM E1354: *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*
- [7] ASTM RR E05-1008: *Interlaboratory Round-Robin Trials to Assess Repeatability and Reproducibility for the Cone Calorimeter*. (Unpublished research report – see Appendix X2.1 of ASTM E1354)
- [8] ASTM D6113: *Standard Test Method for Using a Cone Calorimeter to Determine Fire-Test Response Characteristics of Insulating Materials Contained in Electrical or Optical Fiber Cables*
- [9] ASTM E906: *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rate for Materials and Products*
- [10] U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Regulations, FAR Sec. 25.853 – *Compartment Interiors*
- [11] ASTM D5537-2003: *Standard Test Method for Heat Release, Flame Spread, Smoke Obscuration, and Mass Loss Testing of Insulating Materials Contained in Electrical or Optical Fiber Cables When Burning in a Vertical Cable Tray Configuration*
- [12] UL 1685-1997: *Standard for Vertical-Tray Fire-Propagation and Smoke-Release Test for Electrical and Optical-Fiber Cables*
- [13] EN 50399, *Common test methods for cables under fire conditions – Heat release and smoke production measurement on cables during flame spread test – Apparatus, procedures, results* (to be published)
- [14] *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.
- [15] EN 50266-1, *Common test methods for cables under fire conditions – Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Part 1: Apparatus*
- [16] 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*

- [17] European Commission Decision 2006/751/EC
- [18] EN 13823:2002, *Reaction to fire tests for building products – Building products, excluding floorings, exposed to thermal attack by a single burning item*
- [19] ASTM D5424, *Standard Test Method for Smoke Obscuration Testing of Insulating Materials Contained in Electrical or Optical Fiber Cables When Burning in a Vertical Configuration*
- [20] "SBI Second Round-Robin", Call identifier ENTR/2002/CP11: Theme No. 11/2002, 31st January 2005
- [21] ISO 9705:1993, *Fire tests – Full-scale room test for surface products*
- [22] EN 50289-4-11:2002, *Communication cables – Specifications for test methods – Part 4-11: Environmental test methods. A horizontal integrated fire test method*
- [23] NFPA 262:2006, *Standard Method of Test for Flame Travel and Smoke of Wires and Cables for Use in Air-Handling Spaces – 2007 Edition*
- [24] Hirschler, M.M., *Plenum Cable Test Method: History and Implications*, Business Communications Company 10th Annual Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials, May 20-22, 1999, Stamford, CT, Ed. M. Lewin, pp 325-349, Norwalk, CT, 1999.
- [25] ISO 24473, *Fire tests – Open calorimetry – Measurement of the rate of production of heat and combustion products for fires of up to 40 MW (to be published)*
- [26] IEC 60695 (all parts), *Fire hazard testing*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
INTRODUCTION	25
1 Domaine d'application	26
2 Références normatives	26
3 Termes et définitions	27
4 Résumé des méthodes d'essai	29
4.1 Mesure de la combustion complète	30
4.1.1 Bombe calorimétrique	30
4.2 Mesure de la combustion incomplète	31
4.2.1 Calorimètre conique	31
4.2.2 Calorimètre de l'université de l'Ohio	32
4.2.3 Essais des câbles sur échelle en position verticale	33
4.2.4 Essai "SBI"	35
4.2.5 Essai de câble sur échelles horizontales	37
4.2.6 Essais au feu – Calorimétrie ouverte	39
Bibliographie	40
Tableau 1 – Résumé et comparaison des essais sur échelles verticales	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

**Partie 8-2: Dégagement de chaleur –
Résumé et pertinence des méthodes d'essais**

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI 60695-8-2, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition de la CEI 60695-8-2/TS publiée en 2000, et constitue une révision technique.

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

- modifications rédactionnelles dans toute la publication;

- termes et définitions révisés;
- nouveau Paragraphe 4.1.1 – Bombe calorimétrique;
- nouveau Tableau 1 pour les essais sur échelles verticales;
- nouveau Paragraphe 4.2.4 – méthode d’essai SBI;
- nouveau Paragraphe 4.2.6 – Essais au feu – Calorimétrie ouverte.

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

Le présent rapport technique doit être utilisé conjointement avec la CEI 60695-8-1.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/808/DTR	89/830A/RVC

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

Lors de la conception de tout produit électrotechnique, il est nécessaire de prendre en compte le risque de feu et les dangers potentiels associés. A cet égard, l'objectif lors de la conception des composants, des circuits et des équipements, ainsi que lors du choix des matériaux, est de réduire les risques potentiels d'incendie à des niveaux acceptables même dans le cas d'une utilisation anormale prévisible, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance. La CEI 60695-1-10 [1] ¹⁾, ainsi que la norme d'accompagnement CEI 60695-1-11 [2], fournissent des lignes directrices sur la façon de procéder.

Les principaux objectifs sont les suivants:

- 1) prévenir l'allumage provoqué par un composant sous tension, et
- 2) dans l'éventualité d'un allumage, circonscrire le feu qui en résulte à l'intérieur de l'enveloppe du produit électrotechnique.

Parmi les objectifs secondaires, on peut citer la minimisation de toute propagation de la flamme au-delà de l'enveloppe du produit et la minimisation des effets nuisibles des effluents du feu, y compris la chaleur, les fumées et les produits de combustion toxiques ou corrosifs.

Les feux impliquant des produits électrotechniques peuvent également être déclenchés par des sources de chaleur non électriques externes. De tels cas sont traités dans l'évaluation globale des risques.

Les incendies font courir des dangers aux êtres vivants et aux biens à cause de la chaleur (risque thermique), des composés toxiques et/ou corrosifs et de l'obscurcissement de la vision dû à la fumée qu'ils produisent. Le risque d'incendie augmente avec l'accroissement du dégagement de chaleur conduisant éventuellement à un embrasement éclair.

Une des mesures les plus importantes dans les essais au feu est la mesure du dégagement de chaleur; elle est utilisée comme facteur important dans la détermination des risques dus au feu et elle est utilisée comme l'un des paramètres dans les calculs d'ingénierie de la sécurité incendie.

La mesure et l'exploitation des données concernant le dégagement de chaleur peuvent être utilisées avec d'autres résultats d'essai pour réduire la probabilité (ou les effets) de l'incendie, même dans le cas d'une utilisation anormale prévisible, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance des produits électrotechniques.

Lorsqu'un matériau est chauffé par une source externe, des effluents du feu sont susceptibles d'être générés par cette chaleur et peuvent former un mélange avec l'air qui risque d'allumer ou d'initier un incendie. La chaleur dégagée au cours de la réaction est transportée par le mélange air-effluents du feu, il y a perte de chaleur par rayonnement ou transfert vers la matière solide pour générer d'autres produits de pyrolyse, continuant ainsi le processus.

La chaleur peut aussi être transférée à d'autres produits situés à proximité qui peuvent brûler en apportant une chaleur et un dégagement d'effluents du feu supplémentaires.

La vitesse à laquelle l'énergie thermique est dégagée dans un incendie est définie comme étant le débit thermique. Le débit thermique est important par son influence sur la propagation de la flamme et sur le déclenchement des feux secondaires. D'autres caractéristiques sont également importantes, comme l'allumabilité, la propagation des flammes et les effets secondaires de l'incendie (voir la série des normes CEI 60695).

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 8-2: Dégagement de chaleur – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60695 donne un résumé des méthodes d'essais qui sont utilisées pour déterminer le dégagement de chaleur des produits électrotechniques. Elle représente l'état actuel de la technique de ces méthodes d'essai et, lorsqu'elles sont disponibles, elle inclut des observations particulières sur leur pertinence et leur utilisation. La liste des méthodes d'essai ne doit pas être considérée comme exhaustive et les méthodes d'essai qui n'ont pas été élaborées par le CE 89 de la CEI ne doivent pas être considérées comme étant endossées par le CE 89 de la CEI si cela n'est pas spécifiquement indiqué.

Il est possible d'utiliser les résultats du dégagement de chaleur pour évaluer les risques dus au feu et en ingénierie de la sécurité incendie, comme cela est décrit dans la CEI 60695-1-10 [1] et la CEI 60695-1-11 [2].

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

Il est de la responsabilité d'un comité d'études d'utiliser, le cas échéant, les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses propres publications. Les exigences, méthodes d'essai ou conditions d'essai de cette publication fondamentale de sécurité ne s'appliquent pas sauf si elles sont spécifiquement citées en référence ou incluses dans les publications correspondantes.

2 Références normatives

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

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

CEI 60695-8-1:2001, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 8-1: Dégagement de chaleur – Guide général*

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

Guide ISO/IEC 51:1999, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards* (disponible en anglais seulement)

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent. Certains termes et définitions sont tels que donnés dans la CEI 60695-4 et l'ISO 13943.

3.1

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

NOTE La combustion émet généralement des effluents du feu accompagnés de flammes et/ou d'incandescence.
[ISO/CEI 13943, définition 23 modifiée]

3.2

produits de la combustion

matériaux solides, liquides et gazeux résultant de la combustion

NOTE Les produits de la combustion peuvent inclure des effluents du feu, de la cendre, des résidus charbonneux, des scories et/ou de la suie.

3.3

combustion complète

combustion dans laquelle tous les produits de combustion sont entièrement oxydés

NOTE 1 Cela signifie que, lorsque l'agent d'oxydation est l'oxygène, tout le carbone est transformé en dioxyde de carbone et tout l'hydrogène est transformé en eau.

NOTE 2 Si des éléments autres que le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont impliqués dans le processus de combustion, alors il peut ne pas être possible de définir la combustion complète de manière unique.

3.4

feu contrôlé

feu qui a été délibérément arrangé pour produire les effets utiles et dont l'extension est contrôlée dans le temps et dans l'espace

3.5

chaleur de combustion effective

chaleur dégagée par une éprouvette en train de brûler dans un intervalle de temps donné, divisée par la masse perdue par cette éprouvette pendant le même temps

NOTE 1 La valeur est la même que celle du pouvoir calorifique inférieur si l'éprouvette est intégralement transformée en produits de combustion volatils et si tous les produits de combustion sont entièrement oxydés.

NOTE 2 Les unités typiques sont les $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

3.6

feu

processus de combustion caractérisée par une émission de chaleur et d'effluents du feu accompagnée de fumée et/ou de flammes et/ou d'incandescence

3.7

effluents du feu

ensemble des gaz et/ou des aérosols, y compris les particules en suspension, dégagés par combustion ou pyrolyse

[ISO/CEI 13943, définition 45]

3.8

danger de feu

objet ou condition physique présentant la possibilité d'une conséquence indésirable s'ensuivant d'un feu

3.9

ingénierie de la sécurité incendie

application de méthodes d'ingénierie fondées sur des principes scientifiques au développement ou à l'évaluation de conceptions dans l'environnement construit par l'analyse de scénarios feu spécifiques ou par la quantification du risque pour un groupe de scénarios feu

3.10

essai au feu

procédure conçue pour mesurer ou évaluer le comportement au feu ou la réponse d'une éprouvette à un ou plusieurs aspects du feu

3.11

embrasement éclair (dans un local)

flash-over

passage à l'état de combustion généralisée en surface de l'ensemble des matériaux combustibles dans une enceinte

[ISO/CEI 13943, définition 77]

3.12

pouvoir calorifique supérieur

chaleur de combustion d'une substance lorsque la combustion est complète et que l'eau produite est entièrement condensée, dans des conditions spécifiées

[ISO/CEI 13943, définition 86.2]

3.13

chaleur de combustion

énergie thermique dégagée par la combustion d'une unité de masse d'une substance donnée

NOTE Les unités typiques sont les $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

Voir également 3.5, 3.12 et 3.18.

3.14

dégagement de chaleur

énergie thermique produite lors d'un incendie ou d'un essai au feu

NOTE Les unités typiques sont les joules.

3.15

débit thermique

énergie thermique dégagée par unité de temps dans un incendie ou un essai au feu

NOTE Les unités typiques sont les watts.

3.16

essai au feu à échelle intermédiaire

essai au feu effectué sur une éprouvette de dimensions moyennes

NOTE Un essai effectué sur une éprouvette dont la dimension maximale se situe entre 1 m et 3 m est habituellement appelé essai au feu à échelle intermédiaire.

3.17

essai au feu à grande échelle

essai au feu, qui ne peut pas être effectué dans une salle typique de laboratoire, réalisé sur une éprouvette de grandes dimensions

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

3.18**pouvoir calorifique inférieur**

chaleur de combustion lorsque l'eau produite est considérée comme étant à l'état gazeux

NOTE Le pouvoir calorifique inférieur est toujours inférieur au pouvoir calorifique supérieur, car la chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'eau n'est pas comprise.

3.19**oxydation**

réaction chimique dans laquelle la proportion d'oxygène ou d'un autre élément électronégatif dans une substance est augmentée

NOTE En chimie, le terme a le sens plus large d'un processus qui implique la perte d'un électron ou d'électrons d'un atome, d'une molécule ou d'un ion.

3.20**agent d'oxydation**

substance capable de provoquer une oxydation

NOTE La combustion est une oxydation.

3.21**principe de consommation d'oxygène**

relation proportionnelle entre la masse d'oxygène consommée pendant la combustion et la chaleur dégagée

NOTE Une valeur de $13,1 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ est communément utilisée.

3.22**pyrolyse**

décomposition chimique d'une substance provoquée par la chaleur

NOTE 1 Le terme est souvent utilisé pour faire référence à un stade du feu avant qu'une combustion avec flammes n'ait eu lieu.

NOTE 2 Dans le domaine du feu, aucune hypothèse n'est formulée sur la présence ou l'absence d'oxygène.

3.23**essai au feu à petite échelle**

essai au feu effectué sur une éprouvette de petites dimensions

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

3.24**éprouvette**

élément soumis à une procédure d'évaluation ou de mesure

NOTE Dans un essai au feu, cet élément peut être un matériau, un produit, un composant, un élément de construction ou n'importe quelle combinaison de ces éléments. Il peut également s'agir d'un capteur utilisé pour simuler le comportement d'un produit.

3.25**feu non contrôlé**

feu qui se déploie de façon incontrôlée dans le temps et dans l'espace

4 Résumé des méthodes d'essai

Ce résumé ne remplace pas les normes publiées qui sont les seuls documents de référence valables.

4.1 Mesure de la combustion complète

4.1.1 Bombe calorimétrique

4.1.1.1 Méthode d'essai

ISO 1716 [3]

4.1.1.2 But et principe

Le but de cette méthode est de mesurer le pouvoir calorifique supérieur à volume constant. Une éprouvette de masse spécifiée est brûlée dans des conditions normalisées, à volume constant, dans une atmosphère d'oxygène, à l'intérieur d'un calorimètre scellé et étalonné ; la combustion est réalisée avec de l'acide benzoïque certifié. Le pouvoir calorifique déterminé dans ces conditions est calculé sur la base de l'augmentation de la température qui est observée en tenant compte de la perte de chaleur et de la chaleur latente de la vaporisation de l'eau.

4.1.1.3 Eprouvette

L'éprouvette est normalement constituée d'un mélange de 0,5 g d'acide benzoïque réduit en poudre fine et de 0,5 g du matériau soumis à l'essai, lui aussi réduit à un état très fin.

4.1.1.4 Méthode d'essai

La "bombe" est une cuve centrale qui est suffisamment solide pour résister aux hautes pressions de sorte que son volume interne demeure constant. La bombe est immergée dans un bain d'eau qui est agitée et la combinaison de la bombe et du bain d'eau constitue le calorimètre. Le calorimètre est également immergé dans un bain d'eau extérieur. Au cours de la réaction de combustion, la température de l'eau à l'intérieur du calorimètre et celle du bain extérieur est surveillée en permanence et réglée à la même valeur au moyen d'un dispositif de chauffage électrique. Il s'agit de s'assurer qu'il n'y a pas de perte nette de chaleur entre le calorimètre et son environnement proche, c'est-à-dire s'assurer que le calorimètre est adiabatique.

Pour effectuer une mesure, une éprouvette constituée d'une masse connue d'acide benzoïque mélangée à une masse connue du matériau en essai est placée dans un creuset à l'intérieur de la bombe en contact avec un fil d'allumage électrique. La cuve est remplie d'oxygène sous pression (3,0 MPa à 3,5 MPa), elle est scellée et on lui laisse le temps d'atteindre l'équilibre thermique. L'échantillon est ensuite allumé en utilisant une énergie d'entrée mesurée. La combustion est complète parce qu'elle a lieu dans un surplus d'oxygène à haute pression. La chaleur dégagée est calculée à partir de la capacité thermique connue du calorimètre et de l'échauffement qui se produit à la suite de la réaction de combustion.

L'expérience donne la chaleur dégagée à volume constant, c'est-à-dire la variation d'énergie interne, ΔU . Le pouvoir calorifique supérieur à pression constante est le changement d'enthalpie, ΔH , où

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

$\Delta(PV)$ est calculé au moyen de la loi des gaz idéaux;

$$\Delta(PV) = \Delta(nRT) \quad [R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}]$$

Pour calculer ΔH , il est nécessaire d'être en mesure de définir la nature de la réaction de combustion, c'est-à-dire de connaître la composition chimique des produits de combustion. Celle-ci ne sera pas toujours connue. Toutefois, la différence entre ΔU et ΔH est normalement faible et peut être ignorée pour la plupart des cas dans le domaine du feu. Par exemple, dans le cas de carbone brûlant pour former du dioxyde de carbone,

$$\Delta U = -32,76 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1} \text{ et } \Delta H = -32,97 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}.$$

Le pouvoir calorifique inférieur peut être calculé si la teneur en hydrogène de l'éprouvette est connue. Il est pris comme hypothèse que tout l'hydrogène est transformé en eau et le calcul utilise une valeur de $2,449 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ pour la chaleur latente de vaporisation de l'eau à $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.1.5 Répétabilité et reproductibilité

Un programme d'essais interlaboratoires a été mené par le TC 127 du CEN et les résultats sont résumés à l'Annexe B de l'ISO 1716 [3].

4.1.1.6 Pertinence des résultats

Lorsqu'on mesure le pouvoir calorifique à l'intérieur d'une bombe calorimétrique à oxygène, l'échantillon complet est entièrement transformé en produits complètement oxydés. Cela se produit rarement au cours d'un feu car certains matériaux potentiellement combustibles laissent souvent des résidus charbonneux et les produits de la combustion sont souvent partiellement oxydés, par exemple particules de suie dans les fumées et monoxyde de carbone. Le dégagement de chaleur d'un feu sera donc normalement inférieur à la valeur maximale théorique qui peut être calculée à partir des données de combustion.

Les données du pouvoir calorifique sont fondamentales pour la science de la thermochimie et sont d'une grande importance pour la modélisation des feux et l'ingénierie de la sécurité incendie.

En Europe, dans le cadre de la Directive Produits de Construction [4], les matériaux sont classés comme non combustibles s'ils présentent un pouvoir calorifique supérieur qui est inférieur à $2 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ lorsqu'il est mesuré dans une bombe calorimétrique conforme à l'ISO 1716.

4.2 Mesure de la combustion incomplète

4.2.1 Calorimètre conique

4.2.1.1 Méthodes d'essai

ISO 5660-1 [5] et ASTM E1354 [6]

4.2.1.2 But et principe

Cette méthode d'essai à petite échelle pour déterminer le dégagement de chaleur est fondée sur la technique de la consommation d'oxygène. Elle utilise une cellule de charge pour les déterminations de perte de masse, un support pour l'éprouvette, une source de chaleur de forme conique pour l'application d'un flux de chaleur uniforme sur la surface de l'éprouvette et un équipement de mesure de la consommation d'oxygène.

Cette méthode d'essai fournit des mesures de vitesse de dégagement de chaleur, y compris les valeurs de crête et les valeurs moyennes, le dégagement de chaleur total, la chaleur de combustion effective, la perte de masse, le temps d'allumage et l'opacité des fumées. Les expositions sont réalisées avec et sans allumage par étincelle.

Le flux externe de chaleur peut varier de $0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ à $100 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

4.2.1.3 Eprouvette

Le support d'éprouvette peut accueillir des éprouvettes de taille allant jusqu'à 100 mm par 100 mm et 50 mm d'épaisseur. L'orientation normale est l'orientation horizontale mais des supports d'éprouvette verticaux permettent aussi une exposition verticale.

NOTE Bien que des conducteurs et câbles puissent être installés dans le support d'éprouvette et être essayés, il n'a pas été démontré de relation avec les essais à grande échelle.

4.2.1.4 Méthode d'essai

Pendant l'essai, l'éprouvette est exposée à un flux radiant spécifique émis par un cône électrique chauffant. L'allumage commandé est obtenu en utilisant une étincelle externe, qui est déplacée au-dessus de l'éprouvette jusqu'à l'allumage. Le débit thermique est évalué en mesurant la concentration en oxygène dans le conduit d'évacuation et en utilisant le principe de la consommation d'oxygène (voir Paragraphe 4.1 et CEI 60695-8-1).

4.2.1.5 Répétabilité et reproductibilité

Des essais d'évaluation interlaboratoires ont été effectués sur des produits de construction et sur des matières plastiques. Les détails sont donnés dans le document ASTM RR E05-1008 [7].

D'autres essais d'évaluation interlaboratoires ont été effectués sur des produits de construction et sur des matières plastiques (voir les Articles B.1 à B.3 de l'ISO 5660-1 [5]) et sur des matières plastiques qui gonflent lors de leur exposition à la chaleur (voir l'Article B.4 de l'ISO 5660-1).

Aucun résultat d'évaluation interlaboratoire n'est actuellement disponible sur les produits électrotechniques.

L'ASTM D6113 [8] a été publiée comme méthode d'essai pour les fils et câbles.

4.2.1.6 Pertinence des résultats

Les résultats de ces essais peuvent être utilisés pour évaluer la contribution à l'ensemble des risques dus au feu, pour les calculs d'ingénierie de la sécurité incendie, pour la recherche et le développement des produits.

Il convient de noter que les essais des éprouvettes ont lieu dans des conditions offrant une bonne ventilation.

4.2.2 Calorimètre de l'université de l'Ohio

4.2.2.1 Méthode d'essai

ASTM E906 [9]

4.2.2.2 But et principe

Cette méthode d'essai fournit des mesures de la vitesse de dégagement de chaleur fondée sur la technique de mesure de la température. Elle donne les valeurs de crête et les valeurs moyennes, le dégagement total de chaleur, le temps d'allumage et l'opacité des fumées provenant des matériaux et des produits.

Les éprouvettes sont exposées à une énergie radiante, avec ou sans allumage commandé, en utilisant une petite flamme.

Le flux externe de chaleur peut varier de $0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ à $100 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

4.2.2.3 Eprouvette

Le support d'éprouvette peut accueillir des éprouvettes de taille allant jusqu'à 150 mm par 150 mm et 50 mm d'épaisseur. L'orientation normale est l'orientation verticale mais des supports d'éprouvette horizontaux permettent aussi une exposition horizontale.

4.2.2.4 Méthode d'essai

L'éprouvette est placée dans une chambre d'essai traversée par un flux constant d'air. La surface de l'éprouvette est exposée à une source d'énergie radiante. La combustion peut être initiée par un allumage contrôlé ou non des gaz qui sont dégagés.

Les variations de température des gaz quittant la chambre d'essai sont enregistrées de façon continue et le débit thermique est calculé à partir de ces résultats.

4.2.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Les résultats ont été obtenus par le groupe de travail "RHR Calorimetry" de l'université de l'Ohio, ASTM E-5.21.34.

4.2.2.6 Pertinence des résultats

Les résultats de ces essais peuvent être utilisés pour évaluer la contribution aux risques du feu, pour les calculs d'ingénierie de la sécurité incendie, pour la recherche et le développement des produits.

Cette méthode d'essai est également utilisée par la USA Federal Aviation Authority pour évaluer la conformité des matériaux des cabines des avions aux règlements de la Federal Aviation [10].

4.2.3 Essais des câbles sur échelle en position verticale

NOTE Un résumé et une comparaison des essais des câbles sur échelle en position verticale incorporant les mesures du dégagement de chaleur sont donnés au Tableau 1.

4.2.3.1 Méthodes d'essai ASTM et UL

ASTM D5537 [11] et UL 1685 [12].

4.2.3.1.1 But et principe

Ces deux méthodes d'essai sont analogues en substance mais chacune contient deux protocoles. Ces méthodes d'essai sont utilisées pour déterminer la propagation de la flamme, le débit thermique et la chaleur totale dégagée par les câbles lorsqu'ils brûlent et elles peuvent être aussi utilisées pour évaluer l'opacité de la fumée, la perte de masse et les gaz de combustion dégagés.

La source d'allumage est un brûleur à gaz propane à pré-mélange, réglé normalement à 20 kW, appliqué perpendiculairement sur les éprouvettes de câbles en position verticale ou selon un angle de 20° par rapport à la verticale. Les câbles sont montés verticalement sur une échelle, suivant des configurations et des charges qui dépendent du protocole d'essai.

4.2.3.1.2 Eprouvettes

Les éprouvettes sont des longueurs de câbles manufacturées de 2,44 m.

4.2.3.1.3 Méthode d'essai

Les câbles sont montés sur une échelle verticale en faisceaux appropriés à la configuration. Le brûleur à gaz propane est placé près de la base de l'échelle verticale (à un emplacement différent dans chaque protocole). Le débit thermique est déterminé en mesurant la concentration en oxygène, le débit et la température dans le conduit d'évacuation en utilisant le principe de la consommation d'oxygène. La fumée et les produits de la combustion émis sont également mesurés dans le conduit d'évacuation.

4.2.3.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

Une évaluation interlaboratoire de la méthode d'essai spécifiée dans la norme ASTM D5537 a été lancée par le comité D09 Isolation électrique et électronique de l'ASTM mais elle n'a pas été menée à terme.

4.2.3.1.5 Pertinence des résultats

Les résultats provenant de ces essais peuvent être utilisés pour évaluer la contribution des fils et câbles à l'ensemble des risques du feu et pour les calculs d'ingénierie de la sécurité incendie.

4.2.3.2 Méthode d'essai EN

EN 50399 [13].

4.2.3.2.1 But et principe

L'EN 50399 spécifie l'appareillage et les procédures d'essai pour l'évaluation des performances au feu des câbles. Elle a été élaborée dans le cadre du programme de recherche de la FIPEC [14] en réponse à la Directive européenne Produits de Construction (CPD) [4] pour permettre une classification selon cette directive.

La méthode d'essai décrit un essai au feu à échelle intermédiaire de plusieurs câbles montés sur une échelle verticale et elle est appliquée avec une source d'allumage spécifiée pour évaluer le comportement de combustion de ces câbles et pour permettre une déclaration directe de performance. L'essai fournit des données pour les premiers stades d'un feu de câble à partir de l'allumage. Il traite du risque de propagation des flammes le long du câble, du risque que le feu atteigne des zones adjacentes au compartiment d'origine, en mesurant le débit thermique produit, et du risque de réduction de visibilité dans le local d'origine et les enceintes environnantes, en mesurant la production de fumées opaques.

Les paramètres suivants peuvent être déterminés au cours de l'essai: propagation de la flamme, débit thermique, chaleur totale dégagée, vitesse de production de fumée, production totale de fumée, indice de vitesse de développement du feu et apparition de gouttelettes/particules enflammées.

L'appareillage reprend celui de l'EN 50266-1 [15] mais avec des appareils supplémentaires pour mesurer le dégagement de chaleur et la production de fumée au cours de l'essai.

NOTE La norme CEI qui correspond à l'EN 50266-1 est la CEI 60332-3-10 [16].

L'EN 50339 contient deux protocoles. Dans un des protocoles, la source d'allumage a un flux massique de propane de $442 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 10 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ et le flux d'air est de $1\,550 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 140 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ (puissance nominale de 20,5 kW). Ces valeurs sont utilisées pour les classifications B2_{ca}, C_{ca} et D_{ca}. Dans l'autre protocole, la source d'allumage a un flux massique de propane de $647 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 15 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ et le flux d'air est de $2\,300 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} \pm 140 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}$ (puissance nominale de 30 kW). Ces valeurs sont utilisées pour la classification B1_{ca}.

4.2.3.2.2 Eprouvtes

Les éprouvettes sont des longueurs de câbles manufacturées de 3,5 m au minimum. La charge dépend du diamètre du câble. L'espace laissé entre les éprouvettes sur l'échelle dépend aussi du diamètre du câble.

4.2.3.2.3 Méthode d'essai

Les câbles sont montés à l'avant d'une échelle verticale dans la configuration appropriée. La partie inférieure des câbles dépasse d'environ 50 cm sous le brûleur. Le débit thermique est déterminé en mesurant la concentration en oxygène, le débit et la température dans le conduit d'évacuation en utilisant le principe de la consommation d'oxygène (voir 3.21).

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

Le débit du flux volumique dans le conduit d'évacuation est réglé entre $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ce débit est maintenu au cours de l'essai.

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

Dans le cas des essais pour la classe $B1_{ca}$, une carte en silicate de calcium non combustible est placée derrière l'échelle.

4.2.3.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Une évaluation interlaboratoire de la répétabilité et de la reproductibilité a été réalisée au cours du deuxième trimestre 2007.

4.2.3.2.5 Pertinence des résultats

Cet essai a été développé en Europe à la suite de la Directive européenne Produits de Construction et il est exigé pour quatre des classes définies par la Commission Européenne [17]. Les résultats permettent aux états membres de l'Union Européenne d'utiliser, pour la première fois, un système harmonisé de classification des performances au feu des câbles utilisés dans les bâtiments.

Il a été démontré [14] que l'utilisation de ces techniques de mesure supplémentaires, éprouvées pour d'autres essais normalisés, par exemple pour des produits dans les bâtiments, est appropriée pour l'évaluation des performances au feu des câbles électriques. Ces techniques intègrent des mesures du dégagement de chaleur et de la production de fumées. Comparées aux méthodes d'essai existantes décrites dans l'EN 50266 et dans les différentes parties de la CEI 60332-3, elles permettent un système d'évaluation plus complet à la fois plus précis et plus sensible et une gamme plus large de niveaux de performance au feu.

4.2.4 Essai "SBI"

4.2.4.1 Méthode d'essai

EN 13823 [18].

4.2.4.2 But et principe

L'essai "SBI" est un essai au feu pour les produits de construction essentiellement plats (à l'exclusion des revêtements de sol) dans lequel le produit, dans une configuration en coin, est exposé aux rayonnements et aux flammes d'un objet isolé en feu (OIF) créé par un brûleur avec bac à sable alimenté au propane placé au niveau du coin interne inférieur de l'éprouvette. La méthode d'essai OIF n'est pas adaptée aux câbles. Une note du domaine d'application de la norme indique que "Le traitement de certaines familles de produits, par exemple produits linéaires (tuyaux, conduits, câbles, etc.) peut nécessiter des règles particulières."

L'éprouvette est montée sur un chariot qui est positionné dans un cadre sous un système d'évacuation. La réaction de l'éprouvette face au brûleur est suivie par des instruments et visuellement. La propagation des flammes, le dégagement de chaleur et la production de fumées sont mesurés.

4.2.4.3 Epreuve

L'épreuve pour test en coin se compose de deux ailes (longue et courte) d'une épaisseur maximale de 200 mm montées selon un angle de 90 ° l'une par rapport à l'autre. L'aile courte fait 495 mm × 1 500 mm et l'aile longue 1 000 mm × 1 500 mm. Des panneaux en carte de silicate de calcium sont utilisés pour supporter les deux ailes de l'épreuve. Ils sont placés soit directement contre l'épreuve soit à distance.

Tableau 1 – Résumé et comparaison des essais sur échelles verticales

	ASTM D 5537 [11] Protocole A UL 1685 [12] UL 1581-1160 Protocole a)	ASTM D 5537 [11] Protocole B UL 1685 [12] UL 1581-1164 Protocole a)	EN 50399 [13]
Puissance du brûleur en kW (approx.)	21	21	20,5 ou 30
Temps d'application de la flamme en min	20	20	20
Position du brûleur b)	457 mm 76 mm à l'arrière	305 mm 76 mm à l'avant	600 mm 75 mm à l'avant
Angle du brûleur	Horizontal	20 ° vers le haut	Horizontal
Longueur de l'échelle en m	2,44	2,44	3,5
Largeur de l'échelle en m	0,305	0,3	0,5
Longueur de l'épreuve en m	2,44	2,44	3,5 min
Largeur de l'épreuve en m et techniques de montage	0,15 devant uniquement	0,25 devant uniquement	Entre 0,22 et 0,32 devant uniquement
Câbles en faisceaux	Non	Si $D < 13$ mm	Si $D \leq 5$ mm
Enceinte d'essai spécifiée	Oui	Oui	Oui
Nombre d'essais à réaliser	1	1	1
Longueur maximale de résidu carbonneux à partir du sol en m	2,44 (UL) Pas d'exigence (ASTM)	1,805 (UL) c) Pas d'exigence (ASTM)	Pas d'exigence donnée dans la méthode d'essai d)
Mesure du dégagement de chaleur	Facultative (UL) Obligatoire (ASTM)	Facultative (UL) Obligatoire (ASTM)	Obligatoire
<p>a) La UL 1685 et l'ASTM D 5537 contiennent 2 protocoles d'essai. Le protocole A de l'ASTM D 5537 est équivalent au protocole UL 1581-1160 de l'UL 1685 et le protocole B de l'ASTM D 5537 est équivalent au protocole UL 1581-1164 de la UL 1685. L'ASTM D5424 [19] a les mêmes exigences que l'ASTM 5537 sauf que le dégagement de fumée appartient aux mesures obligatoires et que le dégagement de chaleur, la perte massique, les gaz toxiques et la longueur de résidu carbonneux font partie des mesures facultatives. Dans l'ASTM D5537 le dégagement de chaleur, la perte massique et la longueur de résidu carbonneux font partie des mesures obligatoires et la mesure de la fumée et des gaz toxiques de celles qui sont facultatives. Les normes d'essai au feu ASTM ne contiennent pas de critères d'acceptation/de refus. Lorsqu'un câble est soumis aux essais selon l'UL 1685 et satisfait aux critères de propagation de la flamme, de dégagement de chaleur et de fumée, il est classé câble "à faible émission de fumée".</p> <p>b) Hauteur à partir du bas et distance par rapport à la surface de l'épreuve.</p> <p>c) Une longueur maximale de résidu carbonneux de 1,5 m est mesurée à partir du niveau horizontal du brûleur.</p> <p>d) Les exigences sont données au Tableau 4 de la décision 2006/751/EC de la Communauté Européenne [17].</p>			

4.2.4.4 Méthode d'essai

L'éprouvette est exposée aux flammes d'un brûleur à bac à sable placé en bas du coin interne. Les flammes sont obtenues par la combustion d'un gaz propane dont la puissance calorifique est de $30,7 \text{ kW} \pm 2,0$.

Les données sont enregistrées pendant 26 min et la performance de l'éprouvette est évaluée sur une durée de 20 min au cours de cette période. Les paramètres de performance de l'éprouvette sont les suivants : dégagement de chaleur, production de fumée, propagation latérale de la flamme et chute de gouttelettes et de particules enflammées.

Avant l'allumage, un temps limité est mis à profit pour mesurer la chaleur et la fumée produites par le brûleur en utilisant un brûleur auxiliaire identique en se plaçant à l'écart de l'éprouvette.

Un paramètre important de dégagement de chaleur qui est utilisé pour la classification est l'indice de vitesse de développement du feu (Fire Growth Rate - FIGRA). Il est défini comme la valeur maximale du quotient $HRR_{av}(t)/(t - 300 \text{ s})$, où $HRR_{av}(t)$ est la moyenne mobile de 30 s du débit thermique.

4.2.4.5 Répétabilité et reproductibilité

Une série d'essais interlaboratoires a été menée en 1997. Elle a été réalisée par 15 laboratoires qui ont effectué des essais sur 30 produits à trois reprises. Les résultats sont donnés à l'Annexe B de l'EN 13823.

Une deuxième série d'essais interlaboratoires a été rapportée en janvier 2005 [20]. Elle a été réalisée par 30 laboratoires européens qui ont effectué des essais sur 9 produits de construction différents.

4.2.4.6 Pertinence des résultats

Cet essai a été développé en Europe à la suite de la Directive européenne Produits de Construction et il est exigé pour quatre des classes définies par la Commission Européenne. Cet essai a été conçu pour prévoir les performances dans le cadre de l'essai en vraie grandeur, ISO 9705 [21] qui est le scénario de référence. Les résultats permettent aux états membres de l'Union Européenne d'utiliser, pour la première fois, un système harmonisé de classification des performances au feu des produits de construction.

4.2.5 Essai de câble sur échelles horizontales

4.2.5.1 Méthode d'essai

EN 50289-4-11 [22]

4.2.5.2 But et principe

Il s'agit d'une méthode d'essai au feu à l'horizontale pour la détermination de la distance de propagation des flammes, de la densité optique des fumées, de la chaleur totale dégagée, du débit thermique, du temps d'allumage et des gouttelettes/particules enflammées pour les câbles de communication. Les câbles sont soumis aux essais dans des conditions d'installation représentatives.

La source d'allumage est un brûleur à flamme de diffusion fonctionnant au méthane à double orifice, normalement réglé à $88 \text{ kW} \pm 2 \text{ kW}$. La flamme d'essai descend à 1,37 m d'une extrémité de l'éprouvette avec une superficie couverte négligeable vers le haut.

NOTE 1 L'appareillage d'essai est tiré de l'essai NFPA 262 [23] (également connu sous la référence UL 910), mais alors que la mesure du débit thermique est obligatoire dans l'essai EN, elle constitue une mesure facultative dans l'essai NFPA.

NOTE 2 Le développement de la NFPA 262/UL 910 est revu à la référence [24].

4.2.5.3 Chambre d'essai

La chambre d'essai fait 8,9 m de long et ses dimensions internes sont de 451 mm \pm 6 mm en largeur et 305 mm \pm 6 mm en hauteur. Sa base et ses parois sont recouvertes de briques réfractaires isolantes et le revêtement de la partie supérieure est un isolant minéral de 50 mm d'épaisseur. Une des parois de la chambre est dotée d'une rangée de fenêtres d'observation.

NOTE Une telle chambre est souvent désignée sous le terme "Tunnel de Steiner".

4.2.5.4 Chemin de câble en échelle

Le chemin de câble en échelle utilisé pour recevoir les éprouvettes de câbles libres ou les éprouvettes en goulottes fait 7 300 mm \pm 51 mm de long et 305 mm \pm 3 mm de large. Chaque barreau a une longueur de 286 mm \pm 3 mm. L'échelle est montée horizontalement au centre de la chambre d'essai à une hauteur d'environ 200 mm du plancher.

4.2.5.5 Eprouvettes

Les éprouvettes sont des longueurs de câble de 7 320 mm \pm 152 mm qui sont installées sur l'échelle en une seule couche. Les longueurs de câble sont placées en rangées droites et parallèles sans espace entre elles.

4.2.5.6 Méthode d'essai

Les câbles sont montés sur l'échelle horizontale en couche unique et sont placés à l'intérieur de la chambre. Le flux d'air est contrôlé par un obturateur à l'entrée d'air et un clapet sur le conduit d'évacuation. Le flux d'air est maintenu à $(1,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,025 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})$. La flamme d'essai est allumée et le système d'acquisition de données est mis en route. L'essai est poursuivi pendant 20 min.

Le débit thermique est déterminé en mesurant la concentration en oxygène, le débit et la température dans le conduit d'évacuation en utilisant le principe de la consommation d'oxygène. La densité optique des fumées est également mesurée dans le conduit d'évacuation.

Les résultats consignés incluent ce qui suit : la distance de déplacement maximale de la flamme, la densité optique moyenne et de crête des fumées, la vitesse de dégagement de fumée, la vitesse de crête de dégagement de fumée, la quantité totale de fumée dégagée, le débit thermique de crête et le dégagement de chaleur total.

4.2.5.7 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

4.2.5.8 Pertinence des résultats

Cet essai est un des essais au feu des câbles les plus sévères et il a été développé pour soumettre des câbles placés dans des « espacements » aux essais.

NOTE Un espacement est ici une zone située au-dessus des faux plafonds là où sont installés les conduits de chauffage, de ventilation et d'air conditionné, ainsi que les câbles de communication et d'autres dispositifs.

Certains résultats provenant de ces essais peuvent être utilisés pour évaluer la contribution des câbles de communication à l'ensemble des risques dus au feu et pour les calculs de mise au point technique de la sécurité vis-à-vis du feu.

4.2.6 Essais au feu – Calorimétrie ouverte

L'ISO 24473 [25] spécifie une famille de méthodes d'essai qui simulent un feu en vraie grandeur sur un objet d'essai ou un groupe d'objets dans des conditions bien ventilées. Un éventail de feux de différentes tailles peut être étudié en fonction de l'échelle de l'équipement disponible.

Des informations sont données sur la manière d'évaluer la contribution au développement du feu dû à un objet ou un groupe d'objets en utilisant une source d'allumage spécifiée. Les méthodes d'essai donneront des données pour tous les stades de feu qui excluent les effets de réaction d'une structure environnante. Elles peuvent être aussi utilisées pour fournir des données comparatives de comportement au feu pour différents produits ou assemblages en termes de production de chaleur, fumée et gaz de combustion et pour fournir des données pour les études de modélisation mathématiques.

L'ISO 24473 est applicable à l'étude des produits électrotechniques lorsqu'ils sont considérés comme étant victimes d'une source de chaleur externe.

Bibliographie

- [1] CEI 60695-1-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-10: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Directives générales* (à l'étude)
- [2] CEI 60695-1-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-11: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Evaluation des risques du feu* (à l'étude)
- [3] ISO 1716:2002, *Essais de réaction au feu des produits de construction – Détermination de la chaleur de combustion* (disponible en anglais seulement)
- [4] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988, *The Construction Products Directive*
- [5] ISO 5660-1:2002, *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 conique)* (disponible en anglais seulement)
- [6] ASTM E1354: *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*
- [7] ASTM RR E05-1008: *Interlaboratory Round-Robin Trials to Assess Repeatability and Reproducibility for the Cone Calorimeter*. (Unpublished research report – see Appendix X2.1 of ASTM E1354)
- [8] ASTM D6113: *Standard Test Method for Using a Cone Calorimeter to Determine Fire-Test Response Characteristics of Insulating Materials Contained in Electrical or Optical Fiber Cables*
- [9] ASTM E906: *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rate for Materials and Products*
- [10] U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Regulations, FAR Sec. 25.853 – *Compartment Interiors*
- [11] ASTM D5537-2003: *Standard Test Method for Heat Release, Flame Spread, Smoke Obscuration, and Mass Loss Testing of Insulating Materials Contained in Electrical or Optical Fiber Cables When Burning in a Vertical Cable Tray Configuration*
- [12] UL 1685-1997: *Standard for Vertical-Tray Fire-Propagation and Smoke-Release Test for Electrical and Optical-Fiber Cables*
- [13] EN 50399, *Méthodes d'essai communes aux câbles soumis au feu – Mesure de la chaleur et de la fumée dégagées par les câbles au cours de l'essai de propagation de la flamme – Appareillage d'essai, procédure et résultats* (à publier)
- [14] *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.
- [15] EN 50266-1, *Common test methods for cables under fire conditions – Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Part 1: Apparatus*
- [16] CEI 60332-3-10, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 3-10: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Appareillage*

- [17] European Commission Decision 2006/751/EC
- [18] EN 13823:2002, *Essais de réaction au feu des produits de construction – Produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu*
- [19] ASTM D5424, *Standard Test Method for Smoke Obscuration Testing of Insulating Materials Contained in Electrical or Optical Fiber Cables When Burning in a Vertical Configuration*
- [20] "SBI Second Round Robin", Call identifier ENTR/2002/CP11: Theme No. 11/2002, 31st January 2005
- [21] ISO 9705:1993, *Essais au feu – Essai dans une pièce en vraie grandeur pour les produits de surface*
- [22] EN 50289-4-11: 2002, *Câbles de communication – Spécifications des méthodes d'essai – Partie 4-11: Méthodes d'essai d'environnement. Méthode intégrée d'essai horizontal au feu*
- [23] NFPA 262:2006, *Standard Method of Test for Flame Travel and Smoke of Wires and Cables for Use in Air-Handling Spaces – 2007 Edition*
- [24] Hirschler, M. M., *Plenum Cable Test Method: History and Implications*, Business Communications Company 10th Annual Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials, May 20-22, 1999, Stamford, CT, Ed. M. Lewin, pp 325-349, Norwalk, CT, 1999.
- [25] ISO 24473, *Essais au feu – Calorimétrie ouverte – Mesurage de la vitesse de production de chaleur et de produits de combustion dans le cas de feux ayant un débit thermique inférieur ou égal à 40 MW (à publier)*
- [26] CEI 60695 (toutes les parties), *Essais relatifs aux risques du feu*
-

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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