

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

**Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – Summary and relevance of test methods**

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Allumabilité – 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

**Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – Summary and relevance of test methods**

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	7
4 Summary of published test methods.....	11
4.1 Tests using heated air or electrical heating	11
4.1.1 Determination of ignition temperature using a hot-air furnace, ISO 871	11
4.1.2 Differential scanning calorimetry, ISO 11357	12
4.2 Tests using radiant heat	13
4.2.1 Heat release rate - Cone calorimeter method, ISO 5660-1	13
4.2.2 Heat release of insulating liquids, IEC 60695-8-3)	14
4.2.3 Standard test method for determining material ignition and flame spread properties, ASTM E1321.....	14
4.2.4 Determination of the ignition characteristic heat flux from a non-contacting flame source, IEC 60695-11-11	15
4.3 Oxygen index tests	16
4.3.1 Oxygen index – Ambient temperature test, ISO 4589-2.....	16
4.3.2 Oxygen index – Elevated temperature test, ISO 4589-3	17
4.4 Glowing/hot-wire based test methods.....	18
4.4.1 Glow wire tests, IEC 60695-2-11, -12 & -13	18
4.4.2 Hot wire coil ignitability test, IEC 60695-2-20 [<i>Withdrawn 2007-05-01</i>] and ANSI/ASTM D3874.....	21
4.5 Flame tests	22
4.5.1 Needle flame test, IEC 60695-11-5.....	22
4.5.2 50 W Horizontal and vertical flame test methods, IEC 60695-11-10 500 W flame test methods, IEC 60695-11-20	22
4.5.3 1 kW nominal pre-mixed flame, IEC 60695-11-2.....	23
4.5.4 Vertical and 60° tests for aircraft components, FAR 25.....	24
4.6 Tests using an electrical arc	25
4.6.1 Tracking index test, IEC 60112	25
4.6.2 High-Current Arc Ignition (HAI), UL 746A - Sec. 43.....	26
4.6.3 High-Voltage Arc Resistance to Ignition (HVAR), UL 746A - Sec. 44	26
Annex A (informative).....	28
Bibliography	30
Table A.1 – Applicability of test methods	28

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –**Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard
of electrotechnical products –
Ignitability –
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/TR 60695-1-21, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

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

Enquiry draft	Report on voting
89/804/DTR	89/812A/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 technical report is to be read in conjunction with IEC 60695-1-20 ¹⁾.

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

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

Part 1 consists of the following parts:

- Part 1-10¹⁾: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines
- Part 1-11¹⁾: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment
- Part 1-20¹⁾: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – General guidance
- Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – Summary and relevance of test methods
- Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Preselection testing procedures – General guidelines
- Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Insulating liquids

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.

¹⁾ Under consideration.

INTRODUCTION

Fires are responsible for creating hazards to life and property as a result of the generation of heat (thermal hazard), and also as a result of the production of toxic effluent, corrosive effluent and smoke (non-thermal hazard). Fires start with ignition and then can grow, leading in some cases to flash-over and a fully developed fire. Ignition resistance is therefore one of the most important parameters of a material to be considered in the assessment of fire hazard. If there is no ignition, there is no fire.

For most materials (other than metals and some other elements), ignition occurs in the gas phase. Ignition occurs when combustible vapour, mixed with air, reaches a high enough temperature for exothermic oxidation reactions to rapidly propagate. The ease of ignition is a function of the chemical nature of the vapour, the fuel/air ratio and the temperature.

In the case of liquids, the combustible vapour is produced by vaporization of the liquid, and the vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the liquid.

In the case of solids, the combustible vapour is produced by pyrolysis when the temperature of the solid is sufficiently high. The vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the solid, and also on the thickness, density, specific heat, and thermal conductivity of the solid.

The ease of ignition of a test specimen depends on many variables. Factors that need to be considered for the assessment of ignitability are:

- a) the geometry of the test specimen, including thickness and the presence of edges, corners or joints;
- b) the surface orientation;
- c) the rate and direction of air flow;
- d) the nature and position of the ignition source;
- e) the magnitude and position of any external heat flux; and
- f) whether the combustible material is a solid or a liquid.

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 60695-1-10³⁾, together with its companion, IEC 60695-1-11 ²⁾, provide guidance on how this is to be accomplished.

The primary aims are to prevent ignition caused by an electrically energized component part, and 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 sources. Considerations of this nature are dealt with in the overall risk assessment.

2) Under consideration.

For these reasons there are many tests used to evaluate the ignitability of electrotechnical products and of the materials used in their construction. This technical report describes ignitability test methods in common use to assess electrotechnical products, or materials used in electrotechnical products. It also includes test methods in which, by design, ignitability is a significant quantifiable characteristic. It forms part of the IEC 60695-1 series, which gives guidance to product committees wishing to incorporate fire hazard test methods in product standards.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – Summary and relevance of test methods

1 Scope

This part of IEC 60695, which is a technical report, provides a summary of test methods that are used to determine the ignitability of electrotechnical products or materials from which they are formed. It also includes test methods in which, by design, ignitability is a significant quantifiable characteristic.

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 TC 89 unless this is specifically stated.

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 60695-1-20 ³⁾, *Fire hazard testing – Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – General guidance*

IEC 60695-1-30, *Fire hazard testing – Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Use of preselection testing procedures*

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*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

³⁾ Under consideration.

3.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidiser

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

[ISO/IEC 13943, definition 23]

3.2

fire

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

[IEC 60695-4, definition 3.19]

3.3

fire hazard

(cause of fire) physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from fire

3.4

fire point

minimum temperature at which a material ignites and continues to burn for a specified time after a standardized small flame has been applied to its surface under specified conditions

NOTE 1 It is expressed in degrees Celsius.

NOTE 2 In some countries the term "fire point" has an additional meaning: a location where fire fighting equipment is sited, which may also comprise a fire-alarm call point and fire instruction notices.

[ISO/IEC 13943, definition 53]

3.5

fire retardant (noun)

a substance added or a treatment applied to a material in order to suppress, reduce or delay the combustion of the material

[IEC 60695-4, definition 3.31]

3.6

fire scenario

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

[IEC 60695-4, definition 3.32]

3.7

flame (noun)

zone of combustion in the gaseous phase, usually with emission of light

[ISO/IEC 13943, definition 60]

3.8

flame retardant (noun)

substance added, or a treatment applied, to a material in order to suppress or delay the appearance of a flame and/or reduce its propagation (spread) rate

NOTE The use of flame retardants does not necessarily suppress fire.

[ISO/IEC 13943, definition 65]

3.9

flaming combustion

combustion in gaseous phase, usually with emission of light

[ISO/IEC 13943, definition 72]

3.10

flash-ignition temperature (FIT)

the minimum temperature at which, under specified test conditions, sufficient flammable gases are emitted to ignite momentarily on application of a pilot flame

[ISO 871, definition 3.1]

3.11

flash-over

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

[IEC 60695-4, definition 3.42]

3.12

flash point (°C)

minimum temperature to which a material or product must be heated for the vapours emitted to ignite momentarily in the presence of flame, under specified test conditions

NOTE It is expressed in degrees Celsius.

[ISO/IEC 13943, definition 76]

3.13

fully developed fire

state of total involvement of combustible materials in a fire

[ISO/IEC 13943, definition 80]

3.14

glowing combustion

combustion of a material in the solid phase without flame but with the emission of light from the combustion zone

[ISO/IEC 13943, definition 84]

3.15

ignitability

measure of the ease with which an item can be ignited, under specified conditions

[ISO/IEC 13943, definition 91]

3.16

ignition

initiation of combustion

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

[ISO/IEC 13943, definition 96]

3.17

ignition source

source of energy that initiates combustion

[ISO/IEC 13943, definition 97]

3.18

ignition temperature (minimum)

the (minimum) temperature of a material or of an ignition source at which sustained combustion can be initiated under specified test conditions, as defined in the test method

NOTE Ignition requires a sufficient volume of flammable gas and oxidant (air). Sustained combustion requires a sufficient rate of production of flammable gas. The minimum ignition temperature implies thermal stressing to infinite time. For practical purposes, the standard should define the minimum ignition temperature appropriately.

[IEC 60695-4, definition 3.51]

3.19

lower flammability limit (LFL)

minimum concentration of fuel vapour in air below which propagation of a flame will not occur in the presence of an ignition source

NOTE The concentration of a gas or vapour is usually expressed as a volume fraction (%) at a defined temperature and pressure. The concentrations of solid and liquid aerosol, as well as mixtures of dust with air, are usually expressed as a density ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

3.20

spontaneous-ignition temperature (SIT)

the minimum temperature at which ignition is obtained by heating, under specified test conditions, in the absence of any additional flame ignition source.

[ISO 871, definition 3.2]

3.21

thermal inertia

product of thermal conductivity, density and specific heat capacity

NOTE 1 When a material is exposed to a heat flux, the rate of increase in surface temperature depends strongly on the value of the thermal inertia of the material. The surface temperature of a material with a low thermal inertia rises relatively quickly when it is heated, and vice versa.

NOTE 2 The typical units are $\text{J}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}$.

3.22

tracking

progressive formation of conducting paths, which are produced on the surface and/or within a solid insulating material, due to the combined effects of electric stress and electrolytic contamination

[IEC 60112, definition 3.1]

3.23

upper flammability limit (UFL)

highest concentration of a flammable substance in air within which a self-propagating flame can occur

NOTE The concentration of a gas or vapour is usually expressed as a volume fraction (%) at a defined temperature and pressure. The concentrations of solid and liquid aerosol, as well as mixtures of dust with air, are usually expressed as a density ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

4 Summary of published test methods

This summary cannot be used in place of published standards which are the only valid reference documents. 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 TC 89 unless this is specifically stated.

Some test methods are material tests and some are end-product tests. Table A.1 in Annex A lists the test methods described below and distinguishes between material tests and end-product tests.

NOTE 1 Not all the following test methods are specifically ignition or ignitability tests, but some tests have been included because ignition data are, or can be, measured.

NOTE 2 Where no repeatability and reproducibility data are known to be available, the reader is recommended to contact the author/publisher of the relevant test method.

4.1 Tests using heated air or electrical heating

4.1.1 Determination of ignition temperature using a hot-air furnace, ISO 871

4.1.1.1 Purpose and principle

ISO 871 [1] ⁴⁾ specifies a laboratory method for determining the flash-ignition temperature and spontaneous-ignition temperature of plastics using a hot-air furnace.

A specimen of the material is heated in a hot-air ignition furnace using various temperatures within the heated chamber, and the flash-ignition temperature is determined with a small pilot flame directed at the opening in the top of the furnace to ignite evolved gases. The spontaneous-ignition temperature is determined in the same manner as the flash-ignition temperature, but without the ignition flame.

4.1.1.2 Test specimen

Materials supplied in any form, including composites, may be used. A 3 g sample is used if the density is greater than 100 kg·m⁻³. For cellular materials having a density less than 100 kg·m⁻³, any outer skin is removed and a block of dimensions 20 mm × 20 mm × 50 mm is cut.

4.1.1.3 Test method

An air velocity of 25 mm·s⁻¹ is set and an initial test temperature is chosen. At the end of 10 min the temperature is lowered or raised by 50 °C, depending on whether ignition has or has not occurred and a fresh sample is tested. When the range within which the ignition temperature lies has been determined, tests are begun 10 °C below the highest temperature within this range and continued by dropping the temperature in 10 °C steps until the temperature is reached at which there is no ignition during a 10 min period. The ignition temperature is recorded as the lowest test temperature at which ignition is observed.

4.1.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are available in Annex A of ISO 871.

4.1.1.5 Relevance of test data

Tests made under the conditions of this method can be of considerable value in comparing the relative ignition characteristics of different materials. Values obtained represent the lowest

4) Figures in square brackets refer to the bibliography.

ambient air temperature that will cause ignition of the material under the conditions of this test. Test values are expected to rank materials according to ignition susceptibility under actual use conditions.

4.1.2 Differential scanning calorimetry (DSC), ISO 11357

4.1.2.1 Introduction

Differential scanning calorimetry (DSC) is one of a number of thermal methods of analysis which are not used to directly measure ignition, but which are used to measure a number of properties which affect ignitability and which can be used in fire safety engineering studies and in fire modelling.

NOTE Other useful techniques include thermogravimetric analysis (TGA), differential thermal analysis (DTA), thermomechanical analysis (TMA), dynamic mechanical thermal analysis (DMTA), and pyrolysis gas chromatography [2], [3].

4.1.2.2 Purpose and principle

ISO 11357 [4] consists of seven parts, and describes methods using DSC to measure the following properties of polymeric materials such as thermoplastics and thermosetting plastics, including moulding materials and composite materials:

- Glass transition temperature
- Temperature and enthalpy of melting and crystallization
- Specific heat capacity
- Polymerization temperatures and/or times and polymerization kinetics
- Oxidation induction time
- Crystallization kinetics

The DSC method involves the measurement of the difference between the heat flow into a test specimen and that into a reference specimen as a function of temperature and/or time, while the test specimen and the reference specimen are subjected to a controlled temperature programme under a specified atmosphere.

4.1.2.3 Test specimen

Test specimens may be liquid or solid. The optimum test specimen mass varies depending on what parameter is being studied, but will typically be in the range 5 mg to 50 mg. The test specimen is placed in a sample pan which, if required, is sealed with a lid. The reference specimen is usually an identical empty sample pan.

4.1.2.4 Test method

The instrument is first calibrated, then the sample pans are inserted and the instrument is programmed to carry out the desired thermal cycle. Control operations and data analysis are according to the manufacturer's instructions.

4.1.2.5 Repeatability and reproducibility

Data are given in annexes to the various parts of ISO 11357.

4.1.2.6 Relevance of test data

DSC enables the measurement of two important parameters which are needed in fire models of ignition. These are a) specific heat capacity as a function of temperature, and b) the heat of gasification.

4.2 Tests using radiant heat

4.2.1 Heat release rate - Cone calorimeter method, ISO 5660-1

4.2.1.1 Purpose and principle

ISO 5660-1 [5] specifies a method for assessing the heat release rate of a test specimen exposed in the horizontal orientation to a controlled level of irradiance in the presence of a spark ignition source. The irradiance is within the range of $0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ to $100 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. The heat release rate is determined by measurement of the oxygen consumption derived from the oxygen concentration and the flow rate in the combustion product stream. The time to ignition (sustained flaming) is also measured in the test. The test specimen is mounted on a load cell so that the mass is measured during the test.

The test method is based on the observation that, generally, the net heat of combustion is proportional to the amount of oxygen required for combustion. The relationship is that approximately 13,1 kJ of heat are released per gram of oxygen consumed.

4.2.1.2 Test specimen

The test specimen is square ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) and not more than 50 mm thick. It is wrapped in aluminium foil so that the bottom and sides are covered and the top surface is exposed. The wrapped test specimen is placed in a retainer frame. A substrate is used if appropriate.

4.2.1.3 Test method

The apparatus is first calibrated, and then the exhaust flow and irradiance levels are set. The test specimen is placed in position under a radiation shield, and then the test is started when the shield is removed and the spark igniter is inserted and powered.

Data are collected for typically 32 min after sustained flaming has occurred. Three specimens are tested.

NOTE ISO 5660-1 describes the measurement of heat release, mass, and ignition time. However, many cone calorimeters also additionally allow the measurement of CO , CO_2 and smoke production. ISO 5660-2 [6] describes the measurement of smoke production.

4.2.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are available in Annex B of ISO 5660-1.

4.2.1.5 Relevance of test data

Heat release rate is one of the most important variables in determining the hazard from a fire. In a typical fire, many items composed of many surfaces contribute to the development of a fire, thus making its evaluation quite complex. A determination must first be made of when each separate surface will ignite, if at all, and this bench scale test gives this information.

The size of the fire from any items already burning must be determined in order to calculate its contribution to the external irradiance on nearby items. Flame spread over each surface must also be evaluated. The heat release rate from the whole surface is then determined knowing the heat release rate per unit area for a given irradiance, as a function of time, as evaluated using this bench scale test. The total fire output then involves a summation over all surfaces for all materials.

Ignition time data as a function of irradiance can also be used to calculate useful ignition related parameters such as the thermal inertia of materials.

4.2.2 Heat release of insulating liquids, IEC 60695-8-3 ⁵⁾

4.2.2.1 Purpose and principle

This technical report specifies test methods for determining the heat release and smoke production from insulating liquids of electrotechnical products when exposed to a defined heat flux. The standard may also be applicable to other liquid specimens.

The principle of the method is the same as that described in 4.2.1.1. In addition a laser, shining through the exhaust effluent, is used to measure smoke production, as described in ISO 5660-2.

4.2.2.2 Test specimen

For preliminary tests 20 cm³ of liquid are used. 50 cm³ of liquid are used for the main tests. The liquid is placed in a square, stainless steel sample holder which is 100 mm × 100 mm and 15 mm deep.

4.2.2.3 Test method

The apparatus is calibrated in accordance with Parts 1 and 2 of ISO 5660 and preliminary tests are carried out to find the minimum heat flux (critical ignition flux) at which the test specimen ignites in less than 1 200 s. The main tests are then carried out at this critical ignition flux. Data analysis is in accordance with Parts 1 and 2 of ISO 5660.

4.2.2.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

4.2.2.5 Relevance of test data

From this test it is possible to obtain a quantitative assessment of the relative ease, or difficulty, of the ignition of liquids used for electrotechnical purposes. Quantitative heat release and smoke production data are also obtained. All these data can be used in fire safety engineering studies including fire hazard assessments.

4.2.3 Standard test method for determining material ignition and flame spread properties, ASTM E1321

4.2.3.1 Purpose and principle

ASTM E1321 [7] determines material properties related to piloted ignition of a vertically oriented sample under a constant and uniform heat flux and to lateral flame spread on a vertical surface due to an externally applied radiant-heat flux.

4.2.3.2 Test specimen

Test specimens are tested in the form of intended use. For the ignition test, specimens are 155 mm × 155 mm. For the flame spread test, specimens are 800 mm × 155 mm. For both tests, materials and composites of normal thickness 50 mm or less are tested using their full thickness. The test method is restricted to thermally thick test specimens (i.e. when the exposed surface has ignited, the back surface will not have become significantly heated above the ambient temperature).

⁵⁾ Under consideration.

4.2.3.3 Test method

The test method consists of two procedures; one to measure ignition and one to measure lateral flame spread. Vertically mounted specimens are exposed to the heat from a vertical air/gas fuelled radiant-heat energy source inclined at 15° to the test specimen.

For the ignition test, a test specimen is exposed to a heat flux of 30 kW·m⁻² and the time of ignition, if it occurs within 20 min, is noted. The test is repeated until a minimum flux for ignition, with a tolerance of ± 2 kW·m⁻², has been obtained. Tests are then repeated at higher heat fluxes (using increments of about 10 kW·m⁻²), until an ignition time / heat flux profile has been determined for heat fluxes between the minimum heat flux for ignition and 65 kW·m⁻². The data are correlated with defined theories of ignition for the derivation of material flammability properties.

For the flame spread test, a test specimen is exposed to a graduated heat flux that is approximately 5 kW·m⁻² higher at the hotter end than the minimum heat flux necessary for ignition; this heat flux being determined from the ignition test. The test specimen is preheated to thermal equilibrium; the preheat time also being determined from the ignition test. After ignition, the flame front progression along the horizontal length of the test specimen is tracked as a function of time. The data are correlated with defined theories of ignition and flame spread for the derivation of material flammability properties.

4.2.3.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

4.2.3.5 Relevance of test data

The results of this test method provide a minimum surface flux and temperature necessary for ignition and for lateral spread, an effective material thermal inertia value, and a flame-heating parameter pertinent to lateral flame spread. The results are potentially useful to predict the time to ignition and the velocity of lateral flame spread on a vertical surface under a specified external flux without forced lateral airflow. Data can be used in fire growth models.

4.2.4 Determination of the ignition characteristic heat flux from a non-contacting flame source, IEC 60695-11-11

4.2.4.1 Purpose and principle

IEC 60695-11-11 [8] describes a test method used to obtain the ignition characteristic heat flux (ICHF) of electrotechnical products, sub-assemblies and materials. The heat flux originates from a non-contacting flame. The test method measures ignition time as a function of incident heat flux.

4.2.4.2 Test specimen

Test specimens are cut from a representative sample of the material taken from an end-product. Where this is not possible, the test specimen is produced using the same fabrication process and the same thickness as would be normally used to make a part of a product. The size of each test specimen is 75 mm ± 1 mm long by 75 mm ± 1 mm wide for both end-product testing and materials testing. Preferred thicknesses are 0,75 mm ± 0,1 mm, 1,5 mm ± 0,1 mm and 3,0 mm ± 0,2 mm.

4.2.4.3 Test method

The first step is to use a heat flux meter to determine the incident heat fluxes generated at several different distances vertically above the flame. These are in the range 30 kW·m⁻² to 75 kW·m⁻².

Tests are then carried out on test specimens at heat flux levels which are a multiple of $5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ and which are in the range $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ to $75 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, such that one of the heat fluxes is the highest at which the average ignition time is greater than 120 s.

For the purposes of this test method, ignition of the test specimen is considered to be a sustained and continuous flaming combustion for at least 5 s.

4.2.4.4 Repeatability and reproducibility

No data are available. An interlaboratory series of tests is currently underway.

4.2.4.5 Relevance of test data

This test method simulates the fire behaviour of products, assemblies and materials in those cases where a flame source exists close to, but does not make contact with these items. An example is a candle flame near an electrotechnical product.

4.3 Oxygen index tests

4.3.1 Oxygen index – Ambient temperature test, ISO 4589-2

4.3.1.1 Purpose and principle

ISO 4589-2 [9] is used to determine the minimum volume fraction of oxygen, in a mixture with nitrogen, that will support combustion of small vertical test specimens under specified test conditions. The results, reported as percentages, are defined as oxygen index values.

4.3.1.2 Test specimen

For moulding materials the test specimen dimensions are 80 mm to 150 mm in length, 10 mm in width and 4 mm in thickness. The dimensions for other materials are detailed in Table 2 of ISO 4589-2.

4.3.1.3 Test method

A small test specimen is supported vertically in a mixture of oxygen and nitrogen flowing upwards through a transparent chimney. The upper end of the specimen is ignited and the subsequent burning behaviour of the specimen is observed to compare the period for which burning continues, or the length of specimen burnt, with specified limits for such burning. By testing a series of specimens in different oxygen concentrations, the minimum oxygen concentration is estimated for the required burning behaviour.

4.3.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are given in 9.4 and Annex D of ISO 4589-2.

4.3.1.5 Relevance of test data

The oxygen index (OI) test at ambient temperature was first described by Fenimore and Martin [10] in 1966. The first use of the method in standards was ASTM Standard Test Method D 2863:1970 and it has since been published in a wide range of national and international standards. It was published as ISO 4589 in 1984 and has now been revised as ISO 4589-2. The OI test at elevated temperatures is described in ISO 4589-3 [11] (see 4.3.2).

In the period since ASTM D 2863 became a standard, a considerable number of papers have been published about this test. An example is the review by Weil, Hirschler, et al. [12] relating to correlations with other fire tests and to the test's relevance to real fires. The conclusion of this review was that results do not correlate well with any other fire test or with the behaviour of real fires.

The guidance document, ISO 4589-1 [13] states:

“The test is used for the quality control of materials, particularly to check the incorporation of flame retardants in the material under test, and for research and development. This test, in isolation, is insufficient to evaluate the burning behaviour and should not be used for regulations relating to safety control and consumer protection.”

It also states, referring to both ISO 4589-2 and ISO 4589-3:

“It is essential that these small-scale laboratory tests be regarded as material tests only. They are primarily for assistance in development, monitoring consistency and/or pre-selection of materials and **are not for use as the sole means of assessing the potential fire hazard of a material in use.**”

4.3.2 Oxygen index – Elevated temperature test, ISO 4589-3

4.3.2.1 Purpose and principle

ISO 4589-3 [11] is used to determine the minimum volume fraction of oxygen, in a mixture with nitrogen, that will support combustion of small vertical test specimens under specified test conditions over a range of temperatures typically between 25 °C and 150 °C. The results, reported as percentages, are defined as oxygen index values at the test temperature, which is typical of the practical temperature that a plastic material may experience in an overheated service situation.

The standard also includes a method for determining the temperature at which the oxygen index of small vertical test specimens in air is 20,9 under specified test conditions. The result is defined as the flammability temperature (FT) and the method is limited to the determination of results less than 400 °C.

4.3.2.2 Test specimen

For moulding materials the test specimen dimensions are 80 mm to 150 mm in length, 10 mm in width and 4 mm in thickness. The dimensions for other materials are detailed in Table 2 of ISO 4589-2.

4.3.2.3 Test method

A small test specimen is supported vertically in a mixture of oxygen and nitrogen flowing upwards through a transparent double-walled chimney. The chimney is provided with a heating element suitable for use, in conjunction with a pre-heater for heating the incoming gas mixture, to maintain the test atmosphere within the inner tube in the vicinity of the test specimen at the desired test temperature. The upper end of the specimen is ignited and the subsequent burning behaviour of the specimen is observed to compare the period for which burning continues, or the length of specimen burnt, with specified limits for such burning. By testing a series of specimens in different oxygen concentrations, the minimum oxygen concentration is estimated for the required burning behaviour at the selected test temperature.

An alternative procedure is given in Annex A of ISO 4589-3 for the measurement of the flammability temperature (FT). In this procedure air flows upwards through the chimney at a selected test temperature and the burning behaviour of the test specimen is noted. A subsequent test is then carried out at a higher or lower temperature, depending on the previously observed burning behaviour. This procedure is repeated until the FT is established, to within an increment of 5 °C, as the lowest temperature at which the test specimen exceeds at least one of the test criteria.

4.3.2.4 Repeatability and reproducibility

No repeatability data are currently available. Annex B of ISO 4589-3 summarises interlaboratory results of a correlation exercise conducted in the UK in 1986 to assess the effect of different types of specimen support, from which reproducibility data may be calculated. Eight laboratories participated in this exercise.

4.3.2.5 Relevance of test data

See 4.3.1.5.

The flammability temperature test identifies a pass/fail criterion at a specified temperature and is widely used for demonstrating satisfactory behaviour at a limiting temperature. This method is only suitable for testing well-characterized grades of materials. However, great caution should be exercised when testing unknown compounds in which apparently satisfactory behaviour is observed at temperatures above the flammability temperature. It is possible for flammable volatiles to be swept from the chimney during the conditioning period prior to the attempted ignition, rendering the tested material less flammable than the virgin material.

Conversely, some flame-retarded materials may be mis-represented by this test. If the flame retardant works by releasing gas phase combustion inhibitors (e.g. water vapour, carbon dioxide, and antimony halides/oxyhalides) during pyrolysis of the material, then such inhibitors may be swept from the chimney during the conditioning period prior to the attempted ignition, rendering the tested material more flammable than the virgin material.

4.4 Glowing/hot-wire based test methods

4.4.1 Glow wire tests, IEC 60695-2-11, IEC 60695-2-12 and IEC 60695-2-13

4.4.1.1 Glow-wire flammability test for end-products, IEC 60695-2-11

4.4.1.1.1 Purpose and principle

The glow-wire is a specified loop of resistance wire, which is electrically heated to a specified temperature. The test apparatus is described in IEC 60695-2-10 [14].

The purpose of IEC 60695-2-11 [15] is to ensure that, under defined conditions, the glow-wire does not cause ignition of parts, and that a part, if ignited, has a limited duration of burning without spreading fire by flames or by burning or glowing particles falling from the test specimen.

4.4.1.1.2 Test specimens

The test specimen should be a complete end-product chosen so that the conditions of the test will not be significantly different from those occurring in normal use.

If the test cannot be made on a complete end-product, it is acceptable to:

- a) cut a piece containing the part under examination from it, or
- b) cut an aperture in the complete end-product to allow the glow-wire access, or
- c) remove the part under examination in its entirety and test it separately.

4.4.1.1.3 Test method

The tip of the heated glow-wire is brought into contact with a test specimen for a specific period of time and a range of observations and measurements are made, depending upon the particular test procedure.

The tip of the glow-wire is applied horizontally to the part of the test specimen which is likely to be subjected to thermal stresses in normal use.

4.4.1.1.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.4.1.1.5 Relevance of test data

This test identifies a pass/fail criterion at a temperature specified by the relevant product committee. The main use of the test by electrotechnical committees is to ensure the suitability of insulating materials in contact with live parts or electrical connections that might overheat due to a fault. The aim is to ensure that possible ignition of the insulating material does not cause a fire to spread from the product.

Overheating of the electrical connection may cause ignition in the product but, on removal of the fault current, an insulating material which has passed the test would be expected to self-extinguish. Therefore, although the product may have been rendered unusable, flame spread is unlikely to have occurred and so the user and other property will not have been put at risk from fire.

This test has been used for many years as an alternative/replacement for IEC 60695-2-3 *Bad connection test* which was withdrawn in 2003.

As well as checking the integrity of the supporting insulating material, during the test, the operator also records whether flaming or molten droplets fall onto a specified surface below. In a large product this would be assessed by placing below the test specimen a sample of the material that would, in normal use, be subjected to the droplets. If this layer was not damaged and contained the molten material then this would be considered satisfactory. When there is no surface to trap the droplets, and they were likely to escape from the product (for example onto a flammable surface) then a standard sheet of wrapping tissue on a wooden board is used.

The operator also records whether or not the material ignites and can provide further data by measuring the flame height. Flame height is difficult to measure and so some product committees note that ignition has occurred and then assume a standardized zone above the area of the live part or electrical connection to carry out further tests. This is known as consequential testing and it may be carried out using the needle flame test (see 4.5.1).

4.4.1.1.6 Relevant standards

IEC 60695-2-10 [14]

IEC 60695-2-11 [15]

4.4.1.2 Glow-wire flammability test for materials, IEC 60695-2-12

4.4.1.2.1 Purpose and principle

The glow-wire is a specified loop of resistance wire, which is electrically heated to a specified temperature. The test apparatus is described in IEC 60695-2-10 [14].

The purpose of IEC 60695-2-12 [16] is to determine the glow-wire flammability index (GWFI) of solid electrical insulating materials and other solid materials. The GWFI is the highest temperature at which three test specimens comply with the specified conditions.

4.4.1.2.2 Test specimens

The dimensions of the test specimens are $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ a preferred value of thickness. They can be manufactured by compression moulding, injection moulding or casting, or cut from sheets or parts of end-products.

4.4.1.2.3 Test method

The tip of the heated glow-wire is brought into contact with the vertically mounted test specimen for a specific period of time and a range of observations and measurements is made, dependent upon the particular test procedure.

By repeated tests with different test temperatures of the glow-wire, using a new test specimen each time, the GWFI of the material under test is established.

4.4.1.2.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.4.1.2.5 Relevance of test data

This test is a materials test carried out on a series of standard test specimens. The data obtained can then be used in a preselection process to judge the ability of materials to meet the requirements of IEC 60695-2-11, the glow-wire flammability test method for end products. The test method is not valid for determining the flammability, fire behaviour, or fire hazard of complete items of equipment, since the dimensions of the insulating systems or combustible parts, the design and heat transfer to adjacent metallic or non-metallic parts, etc., greatly influence the flammability of the materials used therein.

As an outcome of conducting a fire hazard assessment, an appropriate series of preselection flammability and ignition tests may permit reduced end product testing. (See IEC 60695-1-30).

4.4.1.2.6 Relevant standards

IEC 60695-2-10 [14]

IEC 60695-2-12 [16]

4.4.1.3 Glow-wire ignitability test for materials, IEC 60695-2-13

4.4.1.3.1 Purpose and principle

The glow-wire is a specified loop of resistance wire, which is electrically heated to a specified temperature. The test apparatus is described in IEC 60695-2-10 [14].

The purpose of IEC 60695-2-13 [17] is to determine the glow-wire ignitability index (GWIT) of solid electrical insulating materials and other solid materials. The GWIT is the minimum temperature at which ignition will take place.

4.4.1.3.2 Test specimens

The dimensions of the test specimens are $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ a preferred value of thickness. They can be manufactured by compression moulding, injection moulding or casting, or cut from sheets or parts of end-products.

4.4.1.3.3 Test method

The tip of the heated glow-wire is brought into contact with the vertically mounted test specimen for a specific period of time and a range of observations and measurements made, dependent upon the particular test procedure.

By repeated tests with different test temperatures of the glow-wire, using a new test specimen each time, the GWIT of the material under test is established.

4.4.1.3.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.4.1.3.5 Relevance of test data

This test is a materials test carried out on a series of standard test specimens. The data obtained can then be used in a preselection process to judge the ability of materials to meet the requirements of IEC 60695-2-11, the glow-wire flammability test method for end products. The test method is not valid for determining the ignitability, fire behaviour, or fire hazard of complete items of equipment, since the dimensions of the insulating systems or combustible parts, the design and heat transfer to adjacent metallic or non-metallic parts, etc., greatly influence the flammability of the materials used therein.

As an outcome of conducting a fire hazard assessment, an appropriate series of preselection flammability and ignition tests may permit reduced end product testing. (See IEC 60695-1-30).

4.4.1.3.6 Relevant standards

IEC 60695-2-10 [14]

IEC 60695-2-13 [17]

4.4.2 Hot wire coil ignitability test, IEC 60695-2-20 [Withdrawn 2007-05-01] and ANSI/ASTM D3874

4.4.2.1 Purpose and principle

This test method is intended, in a preliminary fashion, to differentiate materials with respect to their resistance to ignition caused by their proximity to electrically heated wires and other heat sources. Under certain normal (as well as abnormal) operations of electrical equipment, insulating materials may be in close proximity of a heated electrical source such as a motor, a conductor in an overcurrent state, or resistive heating source. If the intensity and/or duration of the exposure to these sources is severe, the insulating material may ignite.

4.4.2.2 Test specimen

The test specimen consists of a bar specimen measuring 125 mm $\pm$ 5 mm by 13,0 mm $\pm$ 0,5 mm at the thickness to be evaluated.

4.4.2.3 Test method

In this test method, the test specimen, with the center portion wrapped with a coil of heater wire, is supported horizontally at both ends. The circuit is then energized by applying a fixed power density to the heater wire, which rapidly heats up. The behaviour of the test specimen is observed until one of the following happens: a) the material under test ignites, b) the material under test melts, or c) 120 s of exposure have elapsed without the occurrence of ignition or melting. The time to ignition and the time to melt-through, as applicable, are recorded.

4.4.2.4 Repeatability and reproducibility

There are currently no published data available. ANSI/ASTM D3874 states "It is likely that, when care is taken to adhere to this test method, the average determined will fall within plus or minus 15 % of the value obtained by an interlaboratory evaluation." However, interlaboratory studies within IEC have indicated that this value may be larger.

4.4.2.5 Relevance of test data

This test method is used for preselection of materials, for quality control and product evaluation. The resultant data have been used for determining the suitability of polymeric materials intended for use in electrical equipment when in direct contact or within 0,8 mm of possible ignition sources.

4.5 Flame tests

4.5.1 Needle flame test, IEC 60695-11-5

4.5.1.1 Purpose and principle

The needle flame test, IEC 60695-11-5 [19], simulates the effect of a small flame which may result from fault conditions, in order to assess the fire hazard.

4.5.1.2 Test specimen

The test specimen is a complete equipment, sub-assembly or component.

4.5.1.3 Test method

A 12 mm high butane test flame is applied to that part of the test specimen most likely to be affected by flames for a specified duration. A specified layer is placed underneath the test specimen to evaluate the possibility of spread of fire. During and after the application of the test flame the test specimen is observed for glowing, dripping particles and ignition.

4.5.1.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.5.1.5 Relevance of test data

The needle flame test is used to check the suitability of materials that may be affected by flames from insulating materials supporting live parts under conditions of an overheated electrical connection. It can also be used to check materials that may require consequential testing (see 4.4.1.1.5).

In some cases a part that would normally be required to meet IEC 60695-2-11 may have dimensions incompatible with the glow wire test apparatus. Should this situation occur, product committees may use the needle flame test IEC 60695-11-5.

4.5.2 50 W Horizontal and vertical flame test methods, IEC 60695-11-10 500 W flame test methods, IEC 60695-11-20

4.5.2.1 Purpose and principle

IEC 60695-11-10 [20] is a test method using a 50 W flame. IEC 60695-11-20 [21] is a test method using a 500 W flame.

These test methods refer to solid electrical insulating materials and are intended to serve as a preliminary indication of their behaviour when exposed to a flame ignition source. The results make it possible to check the constancy of the characteristics of a material and provide an indication of the progress in the development of insulating materials and a relative comparison and classification of various materials.

4.5.2.2 Test specimen

In both test methods the test specimen is 125 mm long, 13 mm wide, and up to 13 mm thick.

4.5.2.3 Test method

These tests involve applying a flame ignition source to a horizontal or vertical test specimen and measuring the burned length or surface spread of flame rate.

NOTE The apparatus for producing the 50 W flame is described in IEC 60695-11-4 [22]. The apparatus for producing the 500 W flame is described in IEC 60695-11-3 [23].

4.5.2.4 Repeatability and reproducibility

Data are available in IEC 60695-11-10 Annexes A and B, and IEC 60695-11-20 Annex A.

4.5.2.5 Relevance of test data

This test is a materials test carried out on a series of standard test specimens. The data obtained can then be used in a preselection process to judge the ability of materials to meet the many flammability requirements for end products. The test method is not valid for determining the flammability, fire behaviour, or fire hazard of complete items of equipment, since the dimensions of the insulating systems or combustible parts, the design and heat transfer to adjacent metallic or non-metallic parts, etc., greatly influence the flammability of the materials used therein.

As an outcome of conducting a fire hazard assessment, an appropriate series of preselection flammability and ignition tests may permit reduced end product testing. (See IEC 60695-1-30).

4.5.2.6 Relevant standards

IEC 60695-11-10 [20]

IEC 60695-11-20 [23]

4.5.3 1 kW nominal pre-mixed flame, IEC 60695-11-2

4.5.3.1 Purpose and principle

IEC 60695-11-2 [24] provides detailed requirements for the production of a 1 kW nominal, propane based pre-mixed type test flame.

4.5.3.2 Test specimen

The test flame can be used to test electrotechnical equipment, sub-assemblies and components and solid electrical insulating materials or other combustible materials. Test specimen details are described in the relevant standards that use this test flame.

4.5.3.3 Test method

Examples of appropriate test arrangements are given in Annex B of IEC 60695-11-2. Numerous tests use this flame ignition source. For details the relevant test method should be consulted.

NOTE When used for testing equipment, unless otherwise stated in the relevant specification, the recommended distance from the top of the burner tube to the point on the surface of the test specimen is approximately 100 mm and the burner is fixed in position during the test.

When used for testing strips of materials, where the operator may move the flame during the test to follow the distorting or burning test specimen, the tip of the blue cone in the flame should be as close as possible without touching the test specimen.

4.5.3.4 Confirmation of the test flame

Confirmation of the test flame is carried out by measuring the time taken for a defined copper block to increase in temperature by a defined amount.

4.5.3.5 Relevance of test data

This 1 kW, high intensity, pre-mixed test flame is very widely used to simulate the reaction to fire of end-products, components and materials to the direct impingement of a flame ignition source.

4.5.3.6 Relevant standards

IEC 60695-11-2 [24]

IEC 60695-11-40 [25]

4.5.4 Vertical and 60° tests for aircraft components, FAR 25

4.5.4.1 Purpose and principle

The requirements for electrical system components are given in FAR 25.869 (a). It states that insulation on electrical wires and electric cable installed in any area of an aeroplane fuselage shall be self-extinguishing when tested in accordance with a 60° bunsen burner test described in Part I, Appendix F of FAR 25 [26].

The requirements for materials and parts used in the crew and passenger compartments are given in FAR 25.853. It states that electrical conduit shall be self-extinguishing when tested in accordance with a vertical bunsen burner test described in Part I, Appendix F of FAR 25.

4.5.4.2 Test specimen

The test specimen for the vertical bunsen burner test is at least 50 mm wide and 30,5 mm long, unless the actual size used in the airline is smaller. The test specimen thickness is no thicker than the minimum thickness qualified for use in an airline.

The test specimen for the 60° bunsen burner test is a length of wire or cable. The gauge is the same as that used in the airline.

4.5.4.3 Test method

These tests involve applying an ignition source to a 60° or vertical test specimen. The flame time, burned length, and flaming time of drippings, if any, are then measured or noted.

Electrical conduits are submitted to a 12 s application of flame. Wire and cable products are submitted to a 30 s application of flame.

4.5.4.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.5.4.5 Relevance of test data

These test methods are used for the preselection of materials, quality control and product evaluation for electrical wires, electrical cables and electrical conduit used in the aviation industry.

4.5.4.6 Relevant standard

FAR 25, Part I - Appendix F [26]

4.6 Tests using an electrical arc

4.6.1 Tracking index test, IEC 60112

4.6.1.1 Purpose and principle

IEC 60112 [27] specifies the method of test for the determination of the proof and comparative tracking indices of solid insulating materials on pieces taken from parts of equipment and on plaques of material using alternating voltages. The standard also provides for the determination of erosion when required.

4.6.1.2 Test specimen

The test specimen should be flat, at least 3 mm thick, and have an area sufficient to ensure that during the test no liquid flows over the edges of the test specimen. 20 mm × 20 mm is recommended as a minimum size.

4.6.1.3 Test method

The upper surface of the test specimen is supported in an approximately horizontal plane and subjected to an electrical stress via two platinum electrodes, 4 mm apart, using an a.c. voltage of between 100 V and 600 V. The surface between the electrodes is subjected to a succession of drops of electrolyte either until an over-current device operates, or until ignition and a persistent flame occurs, or until the test period has elapsed.

The individual tests are of short duration (less than 1 h) with up to 50 or 100 drops of about 20 mg of electrolyte falling at 30 s intervals. The number of drops needed to cause failure usually increases with decreasing applied voltage and, below a critical value, tracking ceases to occur.

During the test, the specimen may also erode or soften, thereby allowing the electrodes to penetrate it. If required, erosion is measured.

If a hole is formed, this is reported.

4.6.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are reported in IEC/TR 62062:2002 [28].

4.6.1.5 Relevance of test data

The test discriminates between materials with relatively poor resistance to tracking, and those with moderate or good resistance, for use in equipment which can be used under moist conditions.

The test is not a good indicator of a material's ability to resist ignition from an arcing source as a primary failure mode. The method is set up to create accelerated conditions for the evaluation of tracking as a primary failure mode. However, these conditions do not accurately reflect conditions under which an arc ignition would occur in the field. While ignition of the specimen often occurs during this test, it is a secondary event to the developing (or completed) carbon track.

NOTE More severe tests of longer duration are required for the assessment of performance of materials for outdoor use, utilizing higher voltages and larger test specimens – see the inclined plane test, IEC 60587 [29].

4.6.1.6 Relevant standard

IEC 60112 [27].

4.6.2 High-Current Arc Ignition (HAI), UL 746A - Sec. 43

4.6.2.1 Purpose and principle

UL 746A - Sec. 43 [30] was developed to differentiate between solid insulating materials with regard to resistance to ignition from arcing electrical sources. Under certain normal, as well as abnormal, operations of electrical equipment, insulating materials may be in the proximity of a source of arcing. If the intensity and/or duration of the arcing are severe, the insulating material may ignite.

4.6.2.2 Test specimen

The test specimen consists of a bar sample measuring 125 mm $\pm$ 5 mm by 13.0 mm $\pm$ 0.5 mm at the thickness to be evaluated.

4.6.2.3 Test method

Two electrodes, one a copper rod and the other a stainless steel rod, both at 45° to the horizontal, are brought into contact on the surface of the test specimen. The stainless steel electrode is capable of being removed to a distance that will break an arc and then brought back into contact to reinitiate the arc in a cyclic motion along its 45° axis. At the initiation of the test, a 32,5 A circuit (power factor 0,5) is energized and the movable electrode is cycled at a rate of 40 arcs per minute until a flame is detected (or the specimen sustains 200 arcs without ignition). The test may also be run with the initial electrode contact 1,6 mm or 3,2 mm above the surface.

4.6.2.4 Repeatability and reproducibility

There are no currently published data available. However, it is recognized that the following factors often contribute to a broad deviation in measured data;

- a) the occurrence of variable arc profiles due to asynchronous timing of AC frequency and arc initiation,
- b) deterioration of electrode tips during the test cycle, and
- c) lack of precise control of the moveable electrode.

A revised method that addresses these issues (and others) is currently under development in the United States.

4.6.2.5 Relevance of test data

These test methods are used for the preselection of materials, for quality control and product evaluation. The resulting data have been used for determining the suitability of polymeric materials intended for use in electrical equipment when in direct contact, within 0,8 mm of non-arcing sources (such as single conductors or busbars), or within 12,7 mm of arcing sources (such as parts of opposite polarity).

4.6.2.6 Relevant standards

ANSI/UL 746A Sec. 43 [30]
CAN/CSA C22.2 [31]

4.6.3 High-voltage arc resistance to ignition (HVAR), UL 746A - Sec. 44

4.6.3.1 Purpose and principle

UL746A – Sec. 44 [32] is used to differentiate between solid insulating materials with regard to resistance to ignition or the formation of a visible carbonized conducting path over the surface of the material when subjected to high voltage, low current arcing such as during the malfunction of certain high voltage power supplies in electrical equipment.

4.6.3.2 Test specimen

The test specimen consists of a bar sample measuring $125\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ by $13,0\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ at the thickness to be evaluated. The test specimens are preconditioned for a minimum of 40 h at $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and at $50\% \pm 5\%$ relative humidity.

4.6.3.3 Test method

Two electrodes, both at 45° to the horizontal, are placed $4,0\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ apart on the surface of the test specimen. At the initiation of the test, an initial circuit of 5,2 kV with a current limiter of 2,36 mA is utilized to create a continuous arc between the electrodes. The test is continued for 5 min or until ignition occurs, or a hole forms in the test specimen.

4.6.3.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

4.6.3.5 Relevance of test data

These test methods are used for the preselection of materials, for quality control and product evaluation. The resulting data have been found useful for determining the suitability of polymeric materials intended for use in electrical equipment when in direct contact or close proximity (0,8 mm to non-arcing or 12,7 mm to arcing) to uninsulated live parts.

4.6.3.6 Relevant standards

ANSI/UL 746A Sec. 44 [32]

CAN/CSA C22.2, No. 0.17 [31]

Annex A (informative)

Applicability of test methods

A.1 Applicability of test methods

Table A.1 lists the test methods described in Clause 4 and distinguishes between material tests and end-product tests.

Table A.1 – Applicability of test methods

Subclause	Test method	Material test	End-product test	Comments
4.1.1	Hot-air furnace ISO 871	✓	×	This measures the flash-ignition temperature and spontaneous-ignition temperature of plastics
4.1.2	Differential scanning calorimetry ISO 11357	✓	×	This measures a number of properties which affect ignitability
4.2.1	Cone calorimeter method ISO 5660-1	✓	If the geometry is appropriate	This is predominantly a heat release rate test, but time to ignition is measured
4.2.2	Heat release of insulating liquids IEC 60695-8-3	✓	✓	This is a test for insulating liquids. It is predominantly a heat release rate test, but time to ignition is measured
4.2.3	Material ignition and flame spread test ASTM E1321-97a	✓	✓	This is used mainly to assess interior building materials
4.2.4	ICHF from a flame source IEC 60695-11-11	✓	✓	This test measures ignition time as a function of the heat flux from a non-contacting flame
4.3.1	Oxygen index - Ambient temperature test ISO 4589-2	✓	×	This test is based on whether burning is sustained after ignition. Oxygen volume fraction is a variable
4.3.2	Oxygen index - Elevated temperature test ISO 4589-3	✓	×	This test is based on whether burning in air is sustained after ignition. Temperature is a variable
4.4.1.1	Glow-wire flammability test for end-products IEC 60695-2-11	×	✓	The ignition source is a hot wire

Table A.1 (continued)

Subclause	Test method	Material test	End-product test	Comments
4.4.1.2	Glow-wire flammability test for materials IEC 60695-2-12	✓	×	The ignition source is a hot wire. The glow-wire flammability index (GWFI) is determined
4.4.1.3	Glow-wire ignitability test for materials IEC 60695-2-13	✓	×	The ignition source is a hot wire. The glow-wire ignitability index (GWIT) is determined
4.5.1	Needle flame test IEC 60695-11-5	✓	✓	The ignition source is a small diffusion flame
4.5.2	50 W Horizontal and vertical flame test methods IEC 60695-11-10	✓	×	The ignition source is a 50 W pre-mixed flame
4.5.2	500 W flame test methods IEC 60695-11-20	✓	×	The ignition source is a 500 W pre-mixed flame
4.5.3	1 kW nominal pre-mixed flame IEC 60695-11-2	✓	✓	The ignition source is a 1 kW pre-mixed flame
4.5.4	Vertical and 60° tests for aircraft components FAR 25 – Part I – Appendix F	×	✓	This is a test for aerospace electrical wires and cables
4.6.1	Proof and comparative tracking indices of solid insulating materials IEC 60112	✓(CTI)*	✓(PTI)**	Ignition which causes persistent flaming (burning for more than 2 s) is a failure criterion in this test
4.6.2	High-current arc ignition (HAI) test UL 746A – Sec.43	✓	×	This is used to evaluate polymeric insulating materials
4.6.3	High-voltage arc ignition (HVAR) test UL 746A - Sec.44	✓	×	This is used to evaluate polymeric insulating materials
* CTI = Comparative tracking index				
** PTI = Proof tracking index				

Bibliography

- [1] IEC 60695-4:2005, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*
- [2] ISO 871, *Plastics – Determination of ignition temperature using a hot-air furnace*
- [3] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995, pp. 1-103 to 1-106
- [4] Haines, P. J., *Thermal methods of analysis*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1995
- [5] ISO 11357, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC)*
- [6] ISO 5660-1, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*
- [7] ISO 5660-2, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 2: Smoke production rate (dynamic measurement)*
- [8] ASTM E1321-97a(2002), *Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties*
- [9] IEC 60695-11-11 ⁶⁾, *Fire hazard testing – Part 11-11: Test flames – Determination of the ignition characteristic heat flux from a non-contacting flame source*
- [10] ISO 4589-2, *Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 2: Ambient-temperature test*
- [11] Fenimore and Martin, *Modern Plastics*, 43, p. 141, 1966
- [12] ISO 4589-3, *Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 3: Elevated-temperature test*
- [13] Weil, Hirschler, Patel, Said and Shakir, *Fire and Materials*, 16(4), p. 159, 1992
- [14] ISO 4589-1, *Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 1: Guidance*
- [15] IEC 60695-2-10, *Fire hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*
- [16] IEC 60695-2-11, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end-products*
- [17] IEC 60695-2-12, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for materials*
- [18] IEC 60695-2-13, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignitability test method for materials*
- [19] ANSI/ASTM D3874-04, *Standard Test Method for Ignition of Materials by Hot Wire Sources*
- [20] IEC 60695-11-5, *Fire hazard testing – Part 11-5: Needle flame test*
- [21] IEC 60695-11-10, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test method.*

⁶⁾ Under consideration.

- [22] IEC 60695-11-20, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods.*
 - [23] IEC 60695-11-4, *Fire hazard testing – Part 11-4: Test flames – 50 W flame - Apparatus and confirmational test method.*
 - [24] IEC 60695-11-3, *Fire hazard testing – Part 11-3: Test flames – 500 W flames - Apparatus and confirmational test methods.*
 - [25] IEC 60695-11-2, *Fire hazard testing – Part 11-2: Test flames – 1 kW pre-mixed flame test method.*
 - [26] IEC 60695-11-40, *Fire hazard testing – Part 11-40: Test flames – Confirmatory tests – Guidance.*
 - [27] FAR 25:1999, *Federal Aviation Regulations – Air worthiness standards – Part 25: Transport category – Airplanes.*
 - [28] IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*
 - [29] IEC/TR 62062:2002, *Results of the Round Robin series of tests to evaluate proposed amendments to IEC 60112.*
 - [30] IEC 60587, *Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions.*
 - [31] UL 746A – Sec. 43, *Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations – Sec. 43: High-current arc ignition test*
 - [32] CAN/CSA C22.2, No. 0.17, *Evaluation of Properties of Polymeric Materials.*
 - [33] UL 746A – Sec. 44, *Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations – Sec. 44: High-voltage arc ignition test*
 - [34] ISO/IEC 13943:2000, *Fire Safety – Vocabulary*
 - [35] IEC 60695-8-3, *Fire hazard testing – Part 8-3 :Heat release – Heat release of insulating liquids used in electrotechnical products⁷*
-

⁷⁾ Under consideration.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	33
INTRODUCTION	35
1 Domaine d'application	37
2 Références normatives	37
3 Termes et définitions	38
4 Résumé des méthodes d'essai publiées	41
4.1 Essais utilisant l'air chauffé ou le chauffage électrique	41
4.1.1 Détermination de la température d'allumage au moyen d'un four à air chaud, ISO 871	41
4.1.2 Analyse calorimétrique différentielle (differential scanning calorimetry – DSC), ISO 11357	42
4.2 Essais utilisant la chaleur rayonnante	43
4.2.1 Débit calorifique – Méthode au calorimètre conique, ISO 5660-1	43
4.2.2 Dégagement de chaleur des liquides isolants, CEI 60695-8-3)	44
4.2.3 Méthode d'essai normalisée pour la détermination des propriétés d'allumage des matériaux et de propagation de la flamme, ASTM E1321	45
4.2.4 Détermination de l'éclairement énergétique caractéristique d'allumage en utilisant une source de chaleur évitant le contact avec la flamme, CEI 60695-11-11	46
4.3 Essais d'indice d'oxygène	47
4.3.1 Indice d'oxygène – Essai à la température ambiante, ISO 4589-2	47
4.3.2 Indice d'oxygène – Essai à haute température, ISO 4589-3	48
4.4 Méthodes d'essai au fil incandescent/chauffant	49
4.4.1 Essais au fil incandescent, CEI 60695-2-11, -12 & -13	49
4.4.2 Essai d'allumabilité par bobine de fil chauffant, CEI 60695-2-20 [annulée 2007-05-01] et ANSI/ASTM D3874	52
4.5 Essais à la flamme	53
4.5.1 Essai au brûleur-aiguille, CEI 60695-11-5	53
4.5.2 Méthode d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W, CEI 60695-11-10 Méthodes d'essai à la flamme de 500 W, CEI 60695-11-20	54
4.5.3 Flamme à pré-mélange de 1 kW nominal, CEI 60695-11-2	55
4.5.4 Essai vertical et essai à 60° pour les composants aéronautiques, FAR 25	55
4.6 Essais utilisant un arc électrique	56
4.6.1 Essai d'indice de cheminement, CEI 60112	56
4.6.2 Allumage par arc à courant élevé (High-Current Arc Ignition - HAI), UL 746A - Sec. 43	57
4.6.3 Résistance à l'allumage à arc à haute tension (High-Voltage Arc Resistance to Ignition - HVAR), UL 746A - Sec. 44	58
Annexe A (informative)	60
Bibliographie	62
Tableau A.1 – Applicabilité des méthodes d'essai	60

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

**Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu
des produits électrotechniques –
Allumabilité –
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/TR 60695-1-21, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

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

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/804/DTR	89/812A/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.

Le présent rapport technique doit être utilisé conjointement avec la CEI 60695-1-20 ¹⁾.

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

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

La partie 1 comprend les parties suivantes :

Partie 1-10¹⁾: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Directives générales

Partie 1-11¹⁾: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Evaluation de dangers

Partie 1-20¹⁾: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Allumabilité – Lignes directrices générales

Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

Partie 1-30: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Utilisation des procédures d'essais de présélection

Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechiques – Liquides isolants

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.

¹⁾ A l'étude.

INTRODUCTION

Les feux sont sources de risques pour la vie et les biens; ceux-ci résultent de la génération de chaleur (risque thermique) et également de la production d'effluents toxiques, d'effluents corrosifs et de fumée (risque non thermique). Les feux commencent avec l'allumage puis ils peuvent grandir, conduisant dans certains cas à un embrasement éclair et à un feu développé. Pour un matériau, la résistance à l'allumage est donc un des paramètres les plus importants à prendre en compte pour l'évaluation du risque du feu. S'il n'y a pas d'allumage, il n'y a pas de feu.

Pour la plupart des matériaux (autres que les métaux et certains autres éléments), l'allumage se produit en phase gazeuse. L'allumage se produit lorsqu'une vapeur combustible, mélangée à l'air, atteint une température suffisamment élevée pour que les réactions d'oxydation exothermique se propagent rapidement. La facilité avec laquelle l'allumage se produit dépend de la nature chimique de la vapeur, du rapport combustible/air et de la température.

Dans le cas des liquides, la vapeur combustible résulte de la vaporisation du liquide et le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique de celui-ci.

Dans le cas des solides, la vapeur combustible est produite par pyrolyse lorsque la température du solide est suffisamment élevée. Le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique du solide et également de l'épaisseur, de la densité, de la chaleur spécifique et de la conductivité thermique du solide.

La facilité d'allumage d'une éprouvette dépend de nombreuses variables. Les facteurs qui doivent être pris en compte pour l'évaluation de l'allumabilité sont:

- a) la géométrie de l'éprouvette, y compris son épaisseur et la présence de bords, de coins ou de joints ;
- b) l'orientation de la surface ;
- c) la vitesse et la direction du flux d'air ;
- d) la nature et l'emplacement de la source d'allumage ;
- e) l'ampleur et l'emplacement de tout flux thermique externe; et
- f) le fait que le matériau combustible soit un solide ou un liquide.

Lors de la conception de tout produit électrotechnique, il est nécessaire de prendre en compte le risque de feu et les dangers potentiels associés au feu. 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 de feu à des niveaux acceptables même dans le cas d'une utilisation anormale prévisible, d'un mauvais fonctionnement ou d'une défaillance. La CEI 60695-1-10²⁾, ainsi que la norme d'accompagnement CEI 60695-1-11³⁾, fournissent des lignes directrices sur la façon dont ceci doit être accompli.

Le but premier est de prévenir l'allumage provoqué par un composant sous tension et, dans l'éventualité d'un allumage, de circonscrire le feu qui en résulte à l'intérieur de l'enveloppe du produit électrotechnique.

Parmi les buts 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 non électriques externes. Des considérations de cette nature sont traitées dans l'évaluation globale des risques.

2) A l'étude.

C'est pour ces différentes raisons qu'il existe de nombreux essais utilisés pour évaluer l'allumabilité des produits électrotechniques et des matériaux utilisés dans leur construction. Ce rapport technique décrit les méthodes d'essai de l'allumabilité qui sont généralement utilisées pour évaluer les produits électrotechniques ou les matériaux utilisés dans ces produits. Il inclut aussi les méthodes d'essai dans lesquelles, par conception, l'allumabilité est une caractéristique quantifiable significative. Il fait partie de la série CEI 60695-1, qui donne des indications aux comités de produits qui désirent incorporer des méthodes d'essais sur les risques du feu dans les normes de produit.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques –

Allumabilité –

Résumé et pertinence des méthodes d'essais

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60695, qui est un rapport technique, donne un résumé des méthodes d'essai qui sont utilisées pour déterminer l'allumabilité des produits électrotechniques ou des matériaux à partir desquels ils sont fabriqués. Il inclut aussi les méthodes d'essai dans lesquelles, par conception, l'allumabilité est une caractéristique quantifiable significative.

Il représente l'état de l'art de ces méthodes d'essai et, lorsque cela est applicable, il inclut des observations spéciales concernant 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 développées par le comité d'études 89 de la CEI ne doivent pas être considérées comme étant endossées par le comité d'études 89 de la CEI si cela n'est pas spécifiquement indiqué.

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

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

2 Références normatives

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

CEI 60695-1-20³⁾, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Guide général*

CEI 60695-1-30, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-30: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Utilisation des procédures d'essais de présélection*

3) A l'étude.

Guide CEI 104:1997, *Rédaction des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et des publications avec fonction groupée de sécurité*

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

3 Termes et définitions

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

3.1

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

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

[ISO/CEI 13943, définition 23]

3.2

feu

- a) *feu*: combustion caractérisée par une émission de chaleur et d'effluents accompagnée de fumée et/ou de flammes et/ou d'incandescence;
- b) *incendie*: combustion rapide qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace

[CEI 60695-4, définition 3.19]

3.3

danger du feu

⟨cause de l'incendie⟩ objet physique ou condition avec possibilité de conséquence indésirable liée au feu

3.4

point feu

température minimale à laquelle un matériau soumis à une petite flamme normalisée présentée à sa surface dans des conditions spécifiées prend feu et continue à brûler pendant un temps spécifié

NOTE 1 Il est exprimé en degrés Celsius.

NOTE 2 Dans certains pays, le terme anglais « fire point » (en français « point feu ») a aussi une autre signification: il désigne un emplacement où le matériel de lutte contre l'incendie est placé et qui peut comprendre aussi un point d'appel d'alarme incendie et les instructions à suivre en cas d'incendie.

[ISO/CEI 13943, définition 53]

3.5

ignifuge (substantif)

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer, réduire ou retarder la combustion du matériau

[CEI 60695-4, définition 3.31]

3.6

scénario feu

description détaillée des conditions, y compris de l'environnement, dans lesquelles se déroulent une ou plusieurs des étapes d'un feu réel à un emplacement spécifique ou d'une simulation à pleine échelle, depuis la situation avant l'allumage jusqu'à la fin de la combustion

[CEI 60695-4, définition 3.32]

3.7**flamme** (substantif)

zone de combustion en phase gazeuse généralement avec émission de lumière

[ISO/CEI 13943, définition 60]

3.8**retardateur de flamme ou ignifugeant** (substantif)

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer ou retarder l'apparition d'une flamme et/ou diminuer sa vitesse de propagation

NOTE L'utilisation d'ignifugeant ou de retardateur de flamme ne supprime pas nécessairement le feu.

[ISO/CEI 13943, définition 65]

3.9**combustion avec flamme**

combustion en phase gazeuse, généralement accompagnée d'émission de lumière

[ISO/CEI 13943, définition 72]

3.10**température d'allumage éclair (flash-ignition temperature – FIT)**

température la plus basse à laquelle, dans des conditions d'essai spécifiées, des gaz inflammables suffisants sont émis pour s'allumer momentanément dès l'application d'une flamme pilote

[ISO 871, définition 3.1]

3.11**embrasement éclair dans un local; flash-over**

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

[CEI 60695-4, définition 3.42]

3.12**point d'éclair (°C)**

température la plus basse à laquelle doit être porté un matériau ou un produit pour que les vapeurs émises s'allument momentanément en présence d'une flamme, dans des conditions d'essai spécifiées

NOTE Il est exprimé en degrés Celsius.

[ISO/CEI 13943, définition 76]

3.13**feu développé**

état de combustion généralisé avec flamme de l'ensemble des matériaux combustibles au cours d'un incendie

[ISO/CEI 13943, définition 80]

3.14**combustion incandescente**

combustion d'un matériau en phase solide sans flamme mais avec émission de lumière émanant de la zone de combustion

[ISO/CEI 13943, définition 84]

3.15

allumabilité

mesure de la facilité avec laquelle un objet peut être allumé dans des conditions spécifiées

[ISO/CEI 13943, définition 91]

3.16

allumage

action d'allumer

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

[ISO/CEI 13943, définition 96]

3.17

source d'allumage

source d'énergie qui provoque une combustion

[ISO/CEI 13943, définition 97]

3.18

température (minimale) d'allumage

température (minimale) d'un matériau ou d'une source d'allumage à laquelle peut commencer une combustion soutenue dans des conditions d'essais spécifiées, comme cela est défini dans la méthode d'essai

NOTE L'allumage requiert un volume suffisant de gaz inflammable et d'oxydant (air). La combustion soutenue requiert un taux suffisant de production de gaz inflammable. La température minimale d'allumage implique une contrainte thermique de durée infinie. Pour des raisons pratiques, il convient que la norme définisse de façon appropriée la température minimale d'allumage.

[CEI 60695-4, définition 3.51]

3.19

limite d'inflammabilité basse (LFL - lower flammability limit)

concentration la plus basse de vapeur combustible dans l'air en dessous de laquelle la propagation d'une flamme ne se produira pas en présence d'une source d'allumage

NOTE La concentration de gaz ou de vapeur est généralement exprimée comme une fraction volumique à une température et une pression définies et prend la forme d'un pourcentage (%). La concentration de solide et de liquide en aérosol, ainsi que celle des mélanges de poussière avec l'air, est généralement exprimée comme une densité ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

3.20

température d'allumage spontané (spontaneous ignition temperature – SIT)

température la plus basse à laquelle l'allumage est obtenu par chauffage dans des conditions d'essai spécifiées en l'absence de toute flamme source d'allumage auxiliaire

[ISO 871, définition 3.2]

3.21

inertie thermique

produit de la conductivité thermique, de la densité et de la capacité thermique spécifique

NOTE 1 Lorsqu'un matériau est exposé à un flux thermique, la vitesse d'augmentation de la température de surface dépend fortement de la valeur de l'inertie thermique du matériau. La température de surface d'un matériau à faible inertie thermique augmente relativement rapidement lorsqu'il est chauffé et vice versa.

NOTE 2 Les unités types sont $\text{J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

3.22

cheminement

formation progressive de chemins conducteurs à la surface et/ou dans un isolant solide, sous l'effet combiné des contraintes électriques et de la contamination électrolytique de cette surface

[CEI 60112, définition 3.1]

3.23

limite d'inflammabilité haute (upper flammability limit – UFL)

concentration la plus élevée de substance inflammable dans l'air dans laquelle une flamme autopropagatrice peut apparaître

NOTE La concentration de gaz ou de vapeur est généralement exprimée comme une fraction volumique à une température et une pression définies et prend la forme d'un pourcentage (%). La concentration de solide et de liquide en aérosol, ainsi que celle des mélanges de poussière avec l'air, est généralement exprimée comme une densité ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

4 Résumé des méthodes d'essai publiées

Ce résumé ne peut pas être utilisé à la place des normes publiées qui sont les seuls documents de référence valables. Il représente l'état de l'art de ces méthodes d'essai et, lorsqu'elles sont disponibles, il inclut des observations spéciales concernant 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.

Certaines méthodes d'essai correspondent à des essais de matériaux et d'autres à des essais de produits finis. Le Tableau A.1 de l'Annexe A donne la liste des méthodes d'essai décrites ci-dessous et fait la distinction entre les essais de matériaux et les essais de produits finis.

NOTE 1 Toutes les méthodes d'essai suivantes ne correspondent pas spécifiquement à des essais d'allumage ou d'allumabilité mais certains essais ont été inclus car leurs données d'allumage sont ou peuvent être mesurées.

NOTE 2 En l'absence de données de répétabilité et de reproductibilité connues pour être disponibles, il est recommandé au lecteur de prendre contact avec l'auteur/l'éditeur de la méthode d'essai concernée.

4.1 Essais utilisant l'air chauffé ou le chauffage électrique

4.1.1 Détermination de la température d'allumage au moyen d'un four à air chaud, ISO 871

4.1.1.1 But et principe

L'ISO 871 [1] 4) spécifie une méthode de laboratoire pour déterminer la température d'allumage éclair et la température d'allumage spontané des plastiques au moyen d'un four à air chaud.

Une éprouvette de matériau est chauffée à l'intérieur d'un four d'allumage à air chaud en utilisant différentes températures dans la chambre chauffée et la température d'allumage éclair est déterminée avec une petite flamme pilote dirigée au niveau de l'ouverture en haut du four pour allumer les gaz émis. La température d'allumage spontané est déterminée de la même manière que la température d'allumage éclair mais sans la flamme d'allumage.

4) Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

4.1.1.2 Eprouvette

Il est admis d'utiliser les matériaux quelle que soit la forme sous laquelle ils sont fournis y compris s'il s'agit de matériaux composites. Un échantillon de 3 g est utilisé si la densité est supérieure à $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pour les matériaux alvéolaires dont la densité est inférieure à $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, on retire toute pellicule extérieure et on découpe un bloc de $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$.

4.1.1.3 Méthode d'essai

On règle la vitesse de l'air à $25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ et une température initiale d'essai est choisie. Après 10 min, la température est abaissée ou augmentée de 50°C selon qu'il y a eu ou non allumage et un nouvel échantillon est soumis à l'essai. Après détermination de la plage dans laquelle se situe la température d'allumage, des essais sont commencés à 10°C en dessous de la température la plus élevée à l'intérieur de cette plage puis la température est abaissée par paliers de 10°C jusqu'à la valeur à laquelle il n'y a pas d'allumage pendant une durée de 10 min. La température d'allumage est enregistrée comme la température d'essai à laquelle l'allumage est observé.

4.1.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Des données existent à l'Annexe A de l'ISO 871.

4.1.1.5 Pertinence des résultats d'essai

Les essais réalisés dans les conditions de la présente méthode peuvent être d'une valeur considérable pour comparer les caractéristiques d'allumage relatives de différents matériaux. Les valeurs obtenues représentent la température de l'air ambiant la plus faible qui provoquera l'allumage du matériau dans les conditions de cet essai. Il est prévu que les valeurs d'essai classent les matériaux en fonction de leur sensibilité à l'allumage dans les conditions d'utilisation réelle.

4.1.2 Analyse calorimétrique différentielle (differential scanning calorimetry – DSC), ISO 11357

4.1.2.1 Introduction

L'analyse calorimétrique différentielle fait partie des méthodes thermiques d'analyse qui ne sont pas utilisées pour mesurer directement l'allumage mais qui sont utilisées pour mesurer un certain nombre de propriétés qui affectent l'allumabilité et qui peuvent être utilisées dans les études d'ingénierie sur la sécurité incendie et pour la modélisation des feux.

NOTE D'autres techniques utiles incluent l'analyse thermogravimétrique (thermogravimetric analysis – TGA), l'analyse thermique différentielle (differential thermal analysis – DTA), l'analyse thermomécanique (thermomechanical analysis – TMA), l'analyse thermique mécanique dynamique (dynamic mechanical thermal analysis – DMTA) et la chromatographie gazeuse à pyrolyse (pyrolysis gas chromatography) [2], [3].

4.1.2.2 But et principe

L'ISO 11357 [4] se compose de sept parties et décrit les méthodes qui utilisent l'analyse DSC pour mesurer les propriétés suivantes des matériaux polymères comme les thermoplastiques et les matières plastiques thermodurcissables, y compris les matières à mouler et les matériaux composites:

- Température de transition vitreuse
- Température et enthalpie de fusion et cristallisation
- Capacité thermique spécifique
- Températures et/ou durées de polymérisation et cinétique de polymérisation
- Temps d'induction de l'oxydation

- Cinétique de cristallisation

La méthode DSC prévoit la mesure de la différence entre le flux thermique qui pénètre une éprouvette et celui qui pénètre une éprouvette de référence en fonction de la température et/ou de la durée lorsque l'éprouvette et l'éprouvette de référence sont soumises à un programme avec des températures contrôlées sous une atmosphère spécifiée.

4.1.2.3 Eprouvette

Les éprouvettes peuvent être liquides ou solides. La masse optimale de l'éprouvette varie en fonction du paramètre étudié mais elle se situera normalement dans la plage de 5 mg à 50 mg. L'éprouvette est placée dans un bac à échantillons qui est fermé de manière étanche avec un couvercle si cela est nécessaire. L'éprouvette de référence est généralement un bac à échantillons identique mais vide.

4.1.2.4 Méthode d'essai

L'appareil de mesure est tout d'abord étalonné puis les bacs à échantillons sont insérés et l'appareil est programmé pour réaliser le cycle thermique désiré. Les opérations de contrôle et l'analyse des données sont réalisées conformément aux instructions du fabricant.

4.1.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Les données sont indiquées dans les annexes des différentes parties de l'ISO 11357.

4.1.2.6 Pertinence des résultats d'essai

La méthode DSC permet de mesurer deux paramètres importants qui sont nécessaires dans les modèles d'allumage de feux. Il s'agit de a) la capacité thermique spécifique en fonction de la température et de b) la chaleur de gazéification.

4.2 Essais utilisant la chaleur rayonnante

4.2.1 Débit calorifique – Méthode au calorimètre conique, ISO 5660-1

4.2.1.1 But et principe

L'ISO 5660-1 [5] spécifie une méthode pour l'évaluation du débit calorifique d'une éprouvette exposée horizontalement à un niveau contrôlé de flux thermique en présence d'une source d'allumage par étincelle. Le flux thermique a une valeur comprise entre $0 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ et $100 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Le débit calorifique est déterminé en mesurant la consommation d'oxygène à partir de la concentration en oxygène et du débit au cours de la combustion du produit. Le temps nécessaire à l'allumage (avec flammes persistantes) est également mesuré au cours de l'essai. L'éprouvette est montée sur une cellule de pesage de manière à mesurer la masse pendant l'essai.

Cette méthode d'essai se fonde sur l'observation suivante: généralement, la chaleur nette de combustion est proportionnelle à la quantité d'oxygène nécessaire pour la combustion. La relation donne approximativement 13,1 kJ de chaleur dégagée par gramme d'oxygène consommé.

4.2.1.2 Eprouvette

L'éprouvette est de forme carrée (100 mm × 100 mm) et ne dépasse pas 50 mm d'épaisseur. Elle est enroulée dans une feuille d'aluminium de manière à ce que sa base et ses côtés soient recouverts et que sa surface supérieure soit exposée. L'éprouvette ainsi enroulée est placée dans un support. Un substrat est utilisé si cela est approprié.

4.2.1.3 Méthode d'essai

L'appareil est tout d'abord étalonné puis les niveaux de débit de sortie et de flux thermique sont réglés. L'éprouvette est placée sous un écran de protection et l'essai commence lorsque cet écran est retiré et que le dispositif d'allumage par étincelle est inséré et mis en route.

Les données sont rassemblées normalement 32 min après l'apparition des flammes persistantes. Trois éprouvettes sont soumises à l'essai.

NOTE L'ISO 5660-1 décrit la mesure du dégagement de chaleur, de la masse et du temps d'allumage. Toutefois, de nombreux calorimètres coniques permettent en plus de mesurer la production de CO, de CO₂ et de fumée. L'ISO 5660-2 [6] décrit la mesure de la production de fumée.

4.2.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Des données existent à l'Annexe B de l'ISO 5660-1.

4.2.1.5 Pertinence des résultats d'essai

Le débit calorifique est une des variables les plus importantes pour déterminer le risque d'un feu. Dans le cas d'un feu type, de nombreux éléments composés de nombreuses surfaces contribuent au développement de ce feu ce qui rend son évaluation relativement complexe. Il faut déterminer tout d'abord à quel moment, le cas échéant, chaque surface individuelle prend feu et le présent essai au banc donne cette information.

Il faut déterminer la taille du feu résultant de tout élément en train de se consumer afin de calculer sa contribution au flux thermique externe sur les éléments voisins. Il faut également évaluer la propagation de la flamme sur chaque surface. Le débit calorifique de la surface totale est ensuite déterminé en connaissant le débit calorifique par unité de surface pour un flux thermique donné en fonction du temps tel qu'il est évalué avec cet essai au banc. La valeur totale due au feu implique ensuite une sommation sur toutes les surfaces pour tous les matériaux.

Les données concernant le temps d'allumage en fonction du flux thermique peuvent aussi être utilisées pour calculer des paramètres utiles liés à l'allumage comme l'inertie thermique des matériaux.

4.2.2 Dégagement de chaleur des liquides isolants, CEI 60695-8-3 ⁵⁾

4.2.2.1 But et principe

Ce rapport technique stipule les méthodes d'essai destinées à déterminer le dégagement de chaleur et la production de fumée provenant des liquides isolants des produits électrotechniques lorsqu'ils sont exposés à un flux thermique défini. Cette norme peut également s'appliquer à d'autres éprouvettes liquides.

Le principe de cette méthode est le même que celui décrit en 4.2.1.1. De plus un laser, émettant un faisceau traversant l'effluent d'évacuation, est utilisé pour mesurer la production de fumée comme cela est décrit dans l'ISO 5660-2.

4.2.2.2 Eprouvette

On utilise 20 cm³ de liquide pour les essais préliminaires. On utilise 50 cm³ de liquide pour les essais principaux. Le liquide est placé dans un support d'échantillon carré en acier inoxydable de 100 mm × 100 mm et de 15 mm de profond.

⁵⁾ A l'étude.

4.2.2.3 Méthode d'essai

L'appareil est étalonné conformément aux Parties 1 et 2 de l'ISO 5660 et les essais préliminaires sont effectués pour trouver le flux thermique minimal (flux d'allumage critique) auquel l'éprouvette s'allume en moins de 1 200 s. Les essais principaux sont ensuite réalisés avec ce flux d'allumage critique. L'analyse des données est effectuée conformément aux Parties 1 et 2 de l'ISO 5660.

4.2.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

4.2.2.5 Pertinence des résultats d'essai

A partir de cet essai, il est possible d'obtenir une évaluation quantitative de la facilité ou de la difficulté relative d'allumage des liquides utilisés en électrotechnique. On obtient également des données quantitatives sur le dégagement de chaleur et la production de fumée. Toutes ces données peuvent être utilisées dans les études d'ingénierie sur la sécurité incendie comprenant des évaluations des risques du feu.

4.2.3 Méthode d'essai normalisée pour la détermination des propriétés d'allumage des matériaux et de propagation de la flamme, ASTM E1321

4.2.3.1 But et principe

L'ASTM E1321 [7] détermine les propriétés des matériaux liées à l'allumage piloté d'un échantillon orienté verticalement soumis à un flux thermique constant et uniforme et à une propagation latérale de la flamme sur une surface verticale due à un flux thermique rayonnant appliqué extérieurement.

4.2.3.2 Eprouvette

Les éprouvettes sont soumises à l'essai telles qu'elles sont prévues pour être utilisées. Pour l'essai d'allumage, les éprouvettes font 155 mm × 155 mm. Pour l'essai de propagation de la flamme, les éprouvettes font 800 mm × 155 mm. Pour les deux essais, les matériaux et les matériaux composites d'épaisseur normale inférieure ou égale à 50 mm sont soumis aux essais en utilisant leur épaisseur complète. Cette méthode d'essai est limitée aux éprouvettes thermiquement épaisses (cela signifie que lorsque la surface exposée s'est allumée, la surface arrière n'aura pas été chauffée de manière significative au-delà de la température ambiante).

4.2.3.3 Méthode d'essai

Cette méthode d'essai se compose de deux procédures; une pour mesurer l'allumage et une autre pour mesurer la propagation latérale de la flamme. Les éprouvettes montées verticalement sont exposées à la chaleur provenant d'une source verticale d'énergie rayonnante air/gaz inclinée de 15° par rapport à l'éprouvette.

Pour l'essai d'allumage, une éprouvette est exposée à un flux thermique de 30 kW·m⁻² et le temps nécessaire à l'allumage est noté si celui-ci intervient dans les 20 min. L'essai est répété jusqu'à l'obtention d'un flux thermique minimal pour l'allumage avec une tolérance de ± 2 kW·m⁻². Les essais sont ensuite répétés à des flux thermiques plus élevés (par paliers d'environ 10 kW·m⁻²) jusqu'à ce qu'un temps d'allumage/profil de flux thermique soit déterminé pour les éclaircissements compris entre le flux minimal pour l'allumage et 65 kW·m⁻². Les données sont corrélées avec les théories définies de l'allumage pour la déduction des propriétés d'inflammabilité des matériaux.

Pour l'essai de propagation de la flamme, une éprouvette est exposée à un flux thermique gradué qui est d'environ 5 kW·m⁻² supérieur à l'extrémité la plus chaude que le flux thermique minimal nécessaire à l'allumage; ce flux étant déterminé à partir de l'essai d'allumage. L'éprouvette est préchauffée jusqu'à son équilibre thermique; le temps de préchauffage étant

également déterminé à partir de l'essai d'allumage. Après l'allumage, la progression du front des flammes le long de la longueur horizontale de l'éprouvette est suivie en fonction du temps. Les données sont corrélées avec les théories définies de l'allumage et de la propagation de la flamme pour la déduction des propriétés d'inflammabilité des matériaux.

4.2.3.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

4.2.3.5 Pertinence des résultats d'essai

Les résultats de cette méthode d'essai donnent les valeurs minimales de flux thermique de surface et de température nécessaires à l'allumage et pour la propagation latérale, une valeur d'inertie thermique efficace du matériau et un paramètre de chauffage par la flamme pertinent pour la propagation latérale de la flamme. Ces résultats sont potentiellement utiles pour prédire le temps avant allumage et la vitesse de propagation latérale de la flamme sur une surface verticale avec un flux thermique externe spécifié sans flux d'air latéral forcé. Ces données peuvent être utilisées dans les modèles de croissance du feu.

4.2.4 Détermination de l'éclairement énergétique caractéristique d'allumage en utilisant une source de chaleur évitant le contact avec la flamme, CEI 60695-11-11

4.2.4.1 But et principe

La CEI 60695-11-11 [8] décrit une méthode d'essai utilisée pour obtenir le flux thermique caractéristique d'allumage (ignition characteristic heat flux – ICHF) des produits, des sous-ensembles et des matériaux électrotechniques. Le flux thermique provient d'une flamme qui n'est pas en contact. Cette méthode d'essai mesure le temps nécessaire à l'allumage en fonction du flux thermique incident.

4.2.4.2 Epreuve

Les éprouvettes sont découpées dans un échantillon représentatif du matériau qui est prélevé sur un produit fini. Lorsque cela est impossible, l'éprouvette est obtenue en utilisant le même processus de fabrication et la même épaisseur qui serait utilisés normalement pour réaliser une partie du produit. La taille de chaque éprouvette est de 75 mm $\pm$ 1 mm de long sur 75 mm $\pm$ 1 mm de large pour à la fois l'essai avec le produit fini et l'essai avec les matériaux. Les épaisseurs préférentielles sont de 0,75 mm $\pm$ 0,1 mm, 1,5 mm $\pm$ 0,1 mm et 3,0 mm $\pm$ 0,2 mm.

4.2.4.3 Méthode d'essai

La première étape consiste à utiliser un appareil de mesure du flux thermique pour déterminer les éclaircissements énergétiques incidents générés à plusieurs distances différentes verticalement au-dessus de la flamme. Ils ont des valeurs comprises entre 30 kW·m⁻² et 75 kW·m⁻².

Les essais sont ensuite réalisés sur les éprouvettes à des niveaux de flux thermique qui sont un multiple de 5 kW·m⁻² et qui sont compris entre 30 kW·m⁻² et 75 kW·m⁻², de telle manière qu'un des éclaircissements est le plus élevé auquel le temps moyen avant allumage est supérieur à 120 s.

Pour les besoins de la présente méthode d'essai, l'allumage de l'éprouvette est considéré comme étant une combustion persistante et continue durant au moins 5 s.

4.2.4.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement. Une série d'essais interlaboratoire est actuellement en cours.

4.2.4.5 Pertinence des résultats d'essai

La méthode d'essai consiste à simuler le comportement de produits, d'ensembles ou de matériaux dans les cas de la proximité avec une flamme mais sans contact avec elle. La flamme d'une bougie à côté d'un équipement électrotechnique en est un exemple.

4.3 Essais d'indice d'oxygène

4.3.1 Indice d'oxygène – Essai à la température ambiante, ISO 4589-2

4.3.1.1 But et principe

L'ISO 4589-2 [9] est utilisée pour déterminer la fraction volumique minimale d'oxygène, mélangé avec l'azote, qui supportera la combustion d'éprouvettes verticales de petite taille dans des conditions d'essai spécifiées. Les résultats, reportés en pourcentages, sont définis comme les valeurs de l'indice d'oxygène.

4.3.1.2 Eprouvette

Pour les matériaux de moulage, les dimensions de l'éprouvette sont comprises entre 80 mm et 150 mm en longueur, 10 mm en largeur et 4 mm en épaisseur. Les dimensions des autres matériaux sont données en détail au Tableau 2 de l'ISO 4589-2.

4.3.1.3 Méthode d'essai

Une éprouvette de petite taille est tenue verticalement dans un mélange d'oxygène et d'azote poussé vers le haut à travers une cheminée transparente. L'extrémité supérieure de l'éprouvette est allumée et le comportement en combustion de l'éprouvette est observé pour comparer la durée pendant laquelle la combustion continue ou la longueur d'éprouvette consumée avec les limites spécifiées pour chaque combustion. La concentration minimale d'oxygène est estimée pour le comportement en combustion exigé en soumettant une série d'éprouvettes à différentes concentrations d'oxygène.

4.3.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Les données sont indiquées en 9.4 et à l'Annexe D de l'ISO 4589-2.

4.3.1.5 Pertinence des résultats d'essai

L'essai de l'indice d'oxygène (OI) à température ambiante été décrit pour la première fois par Fenimore et Martin [10] en 1966. La première utilisation de cette méthode dans une norme remonte à la norme ASTM D 2863:1970 et depuis elle a été publiée dans de nombreuses normes nationales et internationales. Elle a été publiée sous la référence ISO 4589 en 1984 et a été révisée depuis sous la référence ISO 4589-2. L'essai OI à des températures élevées est décrit dans l'ISO 4589-3 [11] (voir 4.3.2).

Depuis que l'ASTM D 2863 est devenue une norme, un nombre considérable de papiers a été publié sur cet essai. Par exemple, la revue de Weil, Hirschler, et al. [12] sur les corrélations avec d'autres essais de feu et sur la pertinence de l'essai dans les feux réels. La conclusion de cette revue a été que les résultats ne se corrèlent pas bien avec d'autres essais de feu ou avec le comportement dans le cas de feux réels.

Le document guide, ISO 4589-1 [13] indique:

« L'essai est utilisé pour le contrôle de la qualité des matériaux, en particulier pour vérifier l'incorporation des retardateurs de flamme dans le matériau en essai et pour la recherche et le développement. Cet essai, pris isolément, n'est pas suffisant pour évaluer le comportement de combustion et il convient de ne pas l'utiliser pour les règlements concernant le contrôle de la sécurité et la protection des consommateurs. »

Il indique également, concernant à la fois l'ISO 4589-2 et l'ISO 4589-3:

« Il est essentiel que ces essais de laboratoire à petite échelle soient considérés comme des essais de matériaux uniquement. Ils sont essentiellement destinés à aider au développement, à la cohérence de surveillance et/ou à la pré-sélection des matériaux et **ne sont pas à utiliser comme moyen unique d'évaluer le risque de feu potentiel d'un matériau en utilisation.** »

4.3.2 Indice d'oxygène – Essai à haute température, ISO 4589-3

4.3.2.1 But et principe

L'ISO 4589-3 [11] est utilisée pour déterminer la fraction volumique minimale d'oxygène, mélangé avec l'azote, qui supportera la combustion d'éprouvettes verticales de petite taille dans des conditions d'essai spécifiées d'une gamme de températures normalement comprise entre 25 °C et 150 °C. Les résultats, reportés en pourcentages, sont définis comme les valeurs de l'indice d'oxygène à la température d'essai, qui est typique de la température qu'un matériau plastique peut rencontrer en pratique dans une situation de service en cas de surchauffe.

La norme inclut également une méthode pour la détermination de la température à laquelle l'indice d'oxygène des éprouvettes verticales de petite taille dans l'air est de 20,9 dans les conditions d'essai spécifiées. Le résultat est défini comme la température d'inflammabilité et la méthode est limitée à la détermination des résultats inférieurs à 400 °C.

4.3.2.2 Epreuve

Pour les matériaux de moulage, les dimensions de l'éprouvette sont comprises entre 80 mm et 150 mm en longueur, 10 mm en largeur et 4 mm en épaisseur. Les dimensions des autres matériaux sont données en détail au Tableau 2 de l'ISO 4589-2.

4.3.2.3 Méthode d'essai

Une éprouvette de petite taille est tenue verticalement dans un mélange d'oxygène et d'azote poussé vers le haut à travers une cheminée transparente à double paroi. La cheminée est équipée d'un élément chauffant adapté à l'utilisation, avec un dispositif de pré-chauffage pour chauffer le mélange gazeux entrant, pour maintenir l'atmosphère d'essai dans le tube intérieur à proximité de l'éprouvette à la température d'essai désirée. L'extrémité supérieure de l'éprouvette est allumée et le comportement en combustion de l'éprouvette est observé pour comparer la durée pendant laquelle la combustion continue ou la longueur d'éprouvette consumée avec les limites spécifiées pour chaque combustion. La concentration minimale d'oxygène est estimée pour le comportement en combustion exigé à la température d'essai choisie en soumettant une série d'éprouvettes à différentes concentrations d'oxygène.

Une procédure alternative est donnée à l'Annexe A de l'ISO 4589-3 pour la mesure de la température d'inflammabilité. Dans cette procédure, l'air circule vers le haut en traversant la cheminée à une température d'essai choisie et le comportement de combustion de l'éprouvette est noté. Un autre essai est ensuite réalisé à une température plus élevée ou plus basse en fonction du comportement de combustion observé. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que la température d'inflammabilité soit établie, par paliers de 5 °C, comme la température la plus faible à laquelle l'éprouvette dépasse au moins un des critères d'essai.

4.3.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée de répétabilité n'est disponible actuellement. L'Annexe B de l'ISO 4589-3 résume les résultats interlaboratoires d'une opération de corrélation conduite au Royaume Uni en 1986 pour évaluer l'effet de différents types de support d'éprouvette, à partir desquels des données de reproductibilité peuvent être calculées. Huit laboratoires ont participé à cet exercice.

4.3.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Voir 4.3.1.5.

L'essai de température d'inflammabilité identifie un critère d'acceptation/de refus à une température spécifiée et il est largement utilisé pour démontrer un comportement satisfaisant à une température limite. Cette méthode est adaptée uniquement pour les essais de qualités bien caractérisées de matériaux. Toutefois, il convient de faire très attention lors d'essais de composés inconnus dans lesquels un comportement satisfaisant en apparence est observé à des températures supérieures à la température d'inflammabilité. Il est possible que des éléments volatils inflammables soient balayés de la cheminée pendant la période de conditionnement qui précède l'allumage prévu ce qui rend le matériau soumis à l'essai moins inflammable que le matériau vierge.

Inversement, certains matériaux retardateurs de la flamme peuvent être mal représentés dans cet essai. Si le retardateur de la flamme intervient en dégageant des inhibiteurs de combustion en phase gazeuse (par exemple vapeur d'eau, dioxyde de carbone et halogénures d'antimoine/oxyhalogénures) pendant la pyrolyse du matériau alors de tels inhibiteurs peuvent être balayés de la cheminée pendant la période de conditionnement avant l'allumage prévu rendant le matériau soumis à l'essai plus inflammable que le matériau vierge.

4.4 Méthodes d'essai au fil incandescent/chauffant

4.4.1 Essais au fil incandescent, CEI 60695-2-11, CEI 60695-2-12 et CEI 60695-2-13

4.4.1.1 Essai au fil incandescent pour les produits finis, CEI 60695-2-11

4.4.1.1.1 But et principe

Le fil incandescent est constitué par une boucle spécifiée de fil pour résistance qui est électriquement chauffé à une température spécifiée. L'appareillage d'essai est décrit dans la CEI 60695-2-10 [14].

Le but de la CEI 60695-2-11 [15] est de s'assurer que, dans des conditions définies, le fil incandescent ne cause pas l'inflammation de parties et qu'une partie, si elle s'enflamme, a une durée limitée de combustion sans propagation du feu par les flammes ou par des particules enflammées ou incandescentes tombant de l'éprouvette.

4.4.1.1.2 Eprouvettes

Il convient que l'éprouvette soit un produit fini complet choisi de manière à ce que les conditions d'essai ne soient pas significativement différentes de celles qui apparaissent en utilisation normale.

Si l'essai ne peut être effectué avec un produit fini complet, il est acceptable de:

- a) couper un morceau du produit qui contient la partie à examiner, ou
- b) pratiquer une ouverture dans le produit fini complet pour permettre l'introduction du fil incandescent, ou
- c) extraire entièrement la partie à examiner pour en faire l'essai séparément.

4.4.1.1.3 Méthode d'essai

L'extrémité du fil incandescent chauffé est mise en contact avec une éprouvette pendant un temps spécifié et une série d'observations et de mesures est effectuée en fonction de la procédure particulière d'essai.

L'extrémité du fil incandescent est appliquée sur une partie de l'éprouvette qui est susceptible d'être soumise aux contraintes thermiques en utilisation normale.

4.4.1.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue disponible.

4.4.1.1.5 Pertinence des résultats d'essai

L'essai identifie un critère d'acceptation/de refus à une température spécifiée par le comité de produit compétent. Cet essai est utilisé par les comités électrotechniques principalement pour s'assurer que les matériaux isolants sont adaptés au contact avec des parties actives ou des connexions électriques qui pourraient surchauffer à la suite d'un défaut. Le but est de s'assurer que l'inflammation possible du matériau isolant ne provoque pas une propagation du feu à partir du produit.

La surchauffe d'une connexion électrique peut provoquer l'inflammation du produit mais, dès que le courant de défaut est supprimé, un matériau isolant qui a subi l'essai avec succès est réputé être auto-extinguible. C'est pourquoi, bien que le produit puisse être devenu inutilisable, la propagation des flammes est peu probable et l'utilisateur et les biens n'auront pas été menacés par le feu.

Cet essai a été utilisé pendant de nombreuses années comme alternative/comme norme de remplacement de la CEI 60695-2-3 *Essai de mauvais contact* qui a été annulée en 2003.

Outre la vérification de l'intégrité du matériau isolant support, l'opérateur enregistre également si des gouttelettes enflammées ou fondues tombent sur une surface spécifiée en dessous. Dans les produits de grande taille, ceci serait évalué en plaçant sous l'éprouvette un échantillon du matériau qui serait soumis aux gouttelettes en utilisation normale. Si cette couche n'est pas endommagée et contient le matériau fondu, alors on peut considérer que l'essai est satisfaisant. En l'absence de surface pour collecter les gouttelettes et si elles sont susceptibles de s'échapper du produit (par exemple sur une surface inflammable) alors on utilise une feuille normalisée de papier mousseline sur une planche de bois.

L'opérateur constate aussi si le matériau s'enflamme ou non et il peut fournir des données supplémentaires en mesurant la hauteur de la flamme. La hauteur de la flamme est difficile à mesurer et ainsi certains comités de produit notent qu'il y a eu inflammation et en déduisent une zone normalisée au-dessus de la zone de la partie active ou de la connexion électrique pour réaliser d'autres essais. Cet essai est connu sous le terme essai indirect et il peut être réalisé en utilisant l'essai au brûleur aiguille (voir 4.5.1).

4.4.1.1.6 Normes applicables

CEI 60695-2-10 [14]

CEI 60695-2-11 [15]

4.4.1.2 Essai au fil incandescent pour les matériaux, CEI 60695-2-12

4.4.1.2.1 But et principe

Le fil incandescent est constitué par une boucle spécifiée de fil pour résistance qui est électriquement chauffé à une température spécifiée. L'appareillage d'essai est décrit dans la CEI 60695-2-10 [14].

Le but de la CEI 60695-2-12 [16] est de déterminer l'indice d'inflammabilité au fil incandescent (glow-wire flammability index – GWFI) des matériaux isolants électriques solides et d'autres matériaux solides. Le GWFI correspond à la température la plus élevée à laquelle trois éprouvettes satisfont aux conditions spécifiées.

4.4.1.2.2 Eprouvettes

Les dimensions des éprouvettes sont $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ une valeur préférentielle d'épaisseur. Elles peuvent être fabriquées par moulage par compression ou injection, par coulage ou elles peuvent être découpées sur des feuilles ou des parties des produits finis.

4.4.1.2.3 Méthode d'essai

L'extrémité du fil incandescent chauffé est mise en contact avec une éprouvette montée verticalement pendant un temps spécifié et une série d'observations et de mesures est effectuée en fonction de la procédure particulière d'essai.

Le GWFI du matériau en essai est établi par des essais répétés avec différentes températures d'essai du fil incandescent en utilisant une nouvelle éprouvette à chaque fois.

4.4.1.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue disponible.

4.4.1.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Cet essai est un essai de matériaux effectué sur une série d'éprouvettes normalisées. Les données obtenues peuvent ensuite être utilisées dans une démarche de présélection de matériaux afin de juger de leur capacité à satisfaire aux exigences de la CEI 60695-2-11, la méthode d'essai pour les produits finis par la méthode du fil incandescent. Cette méthode d'essai n'est pas valable pour la détermination de l'inflammabilité, du comportement au feu ou des risques liés au feu de parties entières d'appareils dans la mesure où les dimensions des systèmes isolants ou des parties combustibles, leur conception et la transmission de la chaleur aux parties métalliques ou non métalliques adjacentes, etc. influencent profondément l'inflammabilité des matériaux qui sont utilisés.

L'avantage apporté par une évaluation des risques du feu est qu'une série bien choisie d'essais de présélection sur l'inflammabilité et l'allumage peut permettre de réduire les essais sur le produit fini. (Voir CEI 60695-1-30).

4.4.1.2.6 Normes applicables

CEI 60695-2-10 [14]

CEI 60695-2-12 [16]

4.4.1.3 Essai au fil incandescent pour les matériaux, CEI 60695-2-13

4.4.1.3.1 But et principe

Le fil incandescent est constitué par une boucle spécifiée de fil pour résistance qui est électriquement chauffé à une température spécifiée. L'appareillage d'essai est décrit dans la CEI 60695-2-10 [14].

Le but de la CEI 60695-2-13 [17] est de déterminer l'indice d'allumabilité au fil incandescent (glow-wire ignitability index – GWIT) des matériaux isolants électriques solides et d'autres matériaux solides. Le GWIT est la température minimale à laquelle l'allumage interviendra.

4.4.1.3.2 Eprouvettes

Les dimensions des éprouvettes sont $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ une valeur préférentielle d'épaisseur. Elles peuvent être fabriquées par moulage par compression ou injection, par coulage ou elles peuvent être découpées sur des feuilles ou des parties des produits finis.

4.4.1.3.3 Méthode d'essai

L'extrémité du fil incandescent chauffé est mise en contact avec une éprouvette montée verticalement pendant un temps spécifié et une série d'observations et de mesures est effectuée en fonction de la procédure particulière d'essai.

Le GWIT du matériau en essai est établi par des essais répétés avec différentes températures d'essai du fil incandescent en utilisant une nouvelle éprouvette à chaque fois.

4.4.1.3.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue disponible.

4.4.1.3.5 Pertinence des résultats d'essai

Cet essai est un essai de matériaux effectué sur une série d'éprouvettes normalisées. Les données obtenues peuvent ensuite être utilisées dans une démarche de présélection de matériaux afin de juger de leur capacité à satisfaire aux exigences de la CEI 60695-2-11, la méthode d'essai pour les produits finis par la méthode du fil incandescent. Cette méthode d'essai n'est pas valable pour la détermination de l'inflammabilité, du comportement au feu ou des risques liés au feu de parties entières d'appareils dans la mesure où les dimensions des systèmes isolants ou des parties combustibles, leur conception et la transmission de la chaleur aux parties métalliques ou non métalliques adjacentes, etc. influencent profondément l'inflammabilité des matériaux qui sont utilisés.

L'avantage apporté par une évaluation des risques du feu est qu'une série bien choisie d'essais de présélection sur l'inflammabilité et l'allumage peut permettre de réduire les essais sur le produit fini. (Voir CEI 60695-1-30).

4.4.1.3.6 Normes applicables

CEI 60695-2-10 [14]

CEI 60695-2-13 [17]

4.4.2 Essai d'allumabilité par bobine de fil chauffant, CEI 60695-2-20 [annulée 2007-05-01] et ANSI/ASTM D3874

4.4.2.1 But et principe

La présente méthode d'essai est destinée, dans un premier temps, à différencier les matériaux en fonction de leur résistance à l'allumage causée par leur proximité avec les fils chauffés électriquement et avec d'autres sources de chaleur. Dans certains cas de fonctionnement normal (et de fonctionnement anormal) des matériels électriques, des matériaux isolants peuvent être très proches d'une source électrique qui chauffe, comme un moteur, un conducteur en état de surintensité ou une source chauffante résistive. Si l'intensité et/ou la durée de l'exposition à ces sources est sévère, le matériau isolant peut s'enflammer.

4.4.2.2 Eprouvette

L'éprouvette est constituée d'une barre mesurant $125 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ par $13,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ au niveau de l'épaisseur à évaluer.

4.4.2.3 Méthode d'essai

Dans cette méthode d'essai, l'éprouvette, avec la partie centrale bobinée avec le fil chauffant, est maintenue horizontalement aux deux extrémités. Le circuit est ensuite mis sous tension en appliquant une densité de puissance fixe au fil chauffant qui s'échauffe rapidement. Le comportement de l'éprouvette est observé jusqu'à l'apparition d'une des situations suivantes:

a) le matériau en essai s'enflamme, b) le matériau en essai fond ou c) 120 s d'exposition sont écoulées sans allumage ou fusion. Le temps avant allumage et le temps avant fusion, selon le cas, est enregistré.

4.4.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Il n'existe actuellement aucune donnée publiée. L'ANSI/ASTM D3874 indique «Il est probable, si l'on veille à respecter la présente méthode d'essai, que la moyenne déterminée tombe à plus ou moins 15 % de la valeur obtenue par une évaluation interlaboratoire.» Toutefois, les études interlaboratoires au sein de la CEI ont indiqué que cette valeur peut être plus élevée.

4.4.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Cette méthode d'essai est utilisée pour la présélection des matériaux, le contrôle de la qualité et l'évaluation des produits. Les données des résultats ont été utilisées pour déterminer dans quelle mesure les matériaux polymères destinés à être utilisés dans les matériels électriques sont adaptés lorsqu'ils sont en contact direct ou à au plus 0,8 mm de sources d'allumage potentielles.

4.5 Essais à la flamme

4.5.1 Essai au brûleur-aiguille, CEI 60695-11-5

4.5.1.1 But et principe

L'essai au brûleur-aiguille, CEI 60695-11-5 [19], simule l'effet d'une petite flamme qui peut provenir de conditions de défaut, afin d'évaluer le risque du feu.

4.5.1.2 Epreuve

L'éprouvette est un matériel, un sous-ensemble ou un composant complet.

4.5.1.3 Méthode d'essai

Une flamme d'essai au butane de 12 mm est appliquée pendant une durée spécifiée à la partie de l'éprouvette qui est la plus susceptible d'être affectée par les flammes. Une couche spécifiée est placée sous l'éprouvette pour évaluer la possibilité de propagation du feu. Durant et après l'application de la flamme d'essai, l'éprouvette est examinée pour rechercher des particules incandescentes, des gouttelettes et un allumage.

4.5.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue disponible.

4.5.1.5 Pertinence des résultats d'essai

L'essai au brûleur-aiguille est utilisé pour vérifier que les matériaux qui peuvent être affectés par les flammes provenant de matériaux isolants soutenant des parties actives dans des conditions où une connexion électrique connaît un suréchauffement sont bien adaptés. Il peut également être utilisé pour vérifier des matériaux qui peuvent nécessiter des essais indirects (voir 4.4.1.1.5).

Dans certains cas, une partie qui devrait normalement satisfaire à la CEI 60695-2-11 peut avoir des dimensions incompatibles avec l'appareillage d'essai au fil incandescent. Si une telle situation se présente, le comité de produit peut utiliser l'essai au brûleur-aiguille de la CEI 60695-11-5.

4.5.2 Méthode d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W, CEI 60695-11-10 Méthodes d'essai à la flamme de 500 W, CEI 60695-11-20

4.5.2.1 But et principe

La CEI 60695-11-10 [20] est une méthode d'essai utilisant une flamme de 50 W. La CEI 60695-11-20 [21] est une méthode d'essai utilisant une flamme de 500 W.

Ces méthodes d'essai se rapportent aux matériaux d'isolation électrique solides et ont pour but de servir d'indication préliminaire de leur comportement quand ils sont exposés à une source d'allumage. Les résultats rendent possible la vérification de la constance des caractéristiques d'un matériau, fournissent une indication sur le développement des matériaux d'isolation et permettent une comparaison et un classement entre les différents matériaux.

4.5.2.2 Epreuve

Dans les deux méthodes d'essai, l'éprouvette fait 125 mm de longueur, 13 mm de largeur et a une épaisseur allant jusqu'à 13 mm.

4.5.2.3 Méthode d'essai

Ces essais impliquent l'application d'une source d'allumage sous la forme d'une flamme sur des éprouvettes horizontales ou verticales et la mesure de la longueur brûlée ou la vitesse de propagation des flammes en surface.

NOTE L'appareillage nécessaire pour obtenir la flamme de 50 W est décrit dans la CEI 60695-11-4 [22]. L'appareillage nécessaire pour obtenir la flamme de 500 W est décrit dans la CEI 60695-11-3 [23].

4.5.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Des données peuvent être trouvées dans la CEI 60695-11-10, Annexes A et B et dans la CEI 60695-11-20, Annexe A.

4.5.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Cet essai est un essai de matériaux effectué sur une série d'éprouvettes normalisées. Les données obtenues peuvent ensuite être utilisées dans une démarche de présélection de matériaux afin de juger de leur capacité à satisfaire aux exigences de la CEI 60695-2-11, la méthode d'essai pour les produits finis par la méthode du fil incandescent. Cette méthode d'essai n'est pas valable pour la détermination de l'inflammabilité, du comportement au feu ou des risques liés au feu de parties entières d'appareils dans la mesure où les dimensions des systèmes isolants ou des parties combustibles, leur conception et la transmission de la chaleur aux parties métalliques ou non métalliques adjacentes, etc. influencent profondément l'inflammabilité des matériaux qui sont utilisés.

L'avantage apporté par une évaluation des risques du feu est qu'une série bien choisie d'essais de présélection sur l'inflammabilité et l'allumage peut permettre de réduire les essais sur le produit fini. (Voir CEI 60695-1-30).

4.5.2.6 Normes applicables

CEI 60695-11-10 [20]

CEI 60695-11-20 [23]

4.5.3 Flamme à pré-mélange de 1 kW nominal, CEI 60695-11-2

4.5.3.1 But et principe

La CEI 60695-11-2 [24] donne les exigences détaillées pour la production d'une flamme d'essai de type à pré-mélange à base de propane de 1 kW nominal.

4.5.3.2 Epreuve

Cette flamme d'essai peut être utilisée pour les essais des matériels, des sous-ensembles et des composants électrotechniques et des matériaux isolants électriques solides ou d'autres matériaux combustibles. Les détails concernant l'épreuve sont décrits dans les normes applicables qui utilisent cette flamme d'essai.

4.5.3.3 Méthode d'essai

Des exemples de montages d'essai appropriés sont donnés à l'Annexe B de la CEI 60695-11-2. De nombreux essais utilisent cette source d'allumage par une flamme. Pour avoir des informations plus détaillées, il convient de consulter la méthode d'essai concernée.

NOTE Sauf indication contraire dans la spécification applicable, lorsqu'elle est utilisée pour les essais des matériels, la distance recommandée entre le haut du tube du brûleur et le point de la surface de l'épreuve est d'environ 100 mm et le brûleur est fixé en position au cours de l'essai.

Lorsqu'il est utilisé pour essayer des bandes de matériaux, lorsque l'opérateur peut déplacer la flamme au cours de l'essai pour suivre l'épreuve lorsqu'elle se déforme ou brûle, il est recommandé que le sommet du cône bleu de la flamme soit aussi près que possible sans toucher l'épreuve.

4.5.3.4 Confirmation de la flamme d'essai

La confirmation de la flamme d'essai est réalisée en mesurant le temps nécessaire pour que la température d'un bloc de cuivre défini augmente dans une proportion définie.

4.5.3.5 Pertinence des résultats d'essai

Cette flamme d'essai à pré-mélange à forte intensité de 1 kW est très largement utilisée pour simuler la réaction au feu des produits finis, des composants et des matériaux à l'impact direct d'une source d'allumage utilisant une flamme.

4.5.3.6 Normes applicables

CEI 60695-11-2 [24]

CEI 60695-11-40 [25]

4.5.4 Essai vertical et essai à 60° pour les composants aéronautiques, FAR 25

4.5.4.1 But et principe

Les exigences pour les composants d'un système électrique sont données dans la FAR 25.869 (a). Elle indique que l'isolant des fils et câbles électriques installés à tout endroit du fuselage d'un avion doit être auto-extinguible quand il est essayé au bec Bunsen à 60° comme cela est décrit dans la Partie I, Annexe F de la FAR 25 [26].

Les exigences pour les matériaux et les pièces utilisés en cabine pour l'équipage et les passagers sont données dans la FAR 25.853. Elle indique que le conduit électrique doit être auto-extinguible lorsqu'il est soumis aux essais au bec Bunsen décrit dans la Partie I, Annexe F du document FAR 25.

4.5.4.2 Epreuve

L'éprouvette pour l'essai au bec Bunsen vertical a une largeur de 50 mm et une longueur de 30,5 mm au moins, sauf si la taille réelle utilisée dans les avions est inférieure. L'épaisseur de l'éprouvette ne doit pas être supérieure à l'épaisseur minimale qualifiée pour être utilisée dans un avion.

L'éprouvette pour le bec Bunsen à 60° est une longueur de fils ou de câbles. Le calibre est le même que celui utilisé dans l'avion.

4.5.4.3 Méthode d'essai

Ces essais consistent à appliquer une source d'allumage à une éprouvette orientée à 60 ° ou verticale. La durée de la flamme, la longueur brûlée et la durée de combustion de gouttelettes, le cas échéant, sont mesurées et consignées.

Les conduits électriques sont soumis à une application de la flamme pendant 12 s. Les fils et les câbles sont soumis à une application de la flamme pendant 30 s.

4.5.4.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue disponible.

4.5.4.5 Pertinence des résultats d'essai

Ces méthodes d'essai sont utilisées pour la présélection des matériaux, pour le contrôle de la qualité et pour l'évaluation des produits dans le cas des câbles et conduits électriques utilisés dans l'industrie aéronautique.

4.5.4.6 Norme applicable

FAR 25, Partie I – Annexe F [26]

4.6 Essais utilisant un arc électrique

4.6.1 Essai d'indice de cheminement, CEI 60112

4.6.1.1 But et principe

La CEI 60112 [27] spécifie la méthode d'essai pour la détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides sur des pièces prélevées sur des parties de matériels et sur des plaques de matériau utilisant des tensions alternatives. Cette norme traite aussi de la détermination de l'érosion, le cas échéant.

4.6.1.2 Epreuve

Il convient que l'éprouvette soit plate, ait une épaisseur d'au moins 3 mm et une surface suffisante pour assurer qu'au cours de l'essai aucun liquide ne coule par-dessus ses bords. La taille minimale recommandée est 20 mm × 20 mm.

4.6.1.3 Méthode d'essai

La surface supérieure de l'éprouvette est placée approximativement à l'horizontale et elle est soumise à une contrainte électrique par l'intermédiaire de deux électrodes en platine, éloignées de 4 mm utilisant une tension alternative comprise entre 100 V et 600 V. La surface entre les électrodes est soumise à une chute régulière de gouttes d'électrolyte jusqu'à ce que le dispositif contre les surintensités se déclenche, ou jusqu'à allumage ou jusqu'à ce qu'une flamme persistante apparaisse ou jusqu'à ce que la durée de l'essai se soit écoulée.

Les essais individuels sont de courte durée (moins de 1 h) avec jusqu'à 50 ou 100 gouttes d'environ 20 mg d'électrolyte tombant à 30 s d'intervalle. Le nombre de gouttes nécessaires pour causer une défaillance augmente généralement lorsque la tension appliquée diminue et, en dessous d'une valeur critique, le cheminement cesse.

Pendant l'essai, l'éprouvette peut aussi être érodée ou ramollie, permettant de ce fait aux électrodes de s'y enfoncer. Si nécessaire, l'érosion est mesurée.

Si un trou se forme, cela est consigné.

4.6.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Les données sont consignées dans la CEI/TR 62062:2002 [28].

4.6.1.5 Pertinence des résultats d'essai

L'essai permet de départager les matériaux dont la résistance au cheminement est relativement faible de ceux pour lesquels elle est modérée ou bonne dans le cas des matériels qui peuvent être utilisés dans des conditions humides.

L'essai n'est pas un bon indicateur quant à la capacité d'un matériau à résister à l'allumage dû à une source d'arc comme un mode de défaillance primaire. Cette méthode est prévue pour créer des conditions accélérées pour l'évaluation du cheminement comme mode de défaillance primaire. Toutefois, ces conditions ne reflètent pas de manière précise les conditions dans lesquelles un allumage par arc apparaîtrait dans la zone. Bien que l'allumage d'une éprouvette intervienne souvent au cours de cet essai, il s'agit d'un événement moins important que le chemin de carbone formé ou en formation.

NOTE Des essais plus sévères et plus longs sont exigés pour l'évaluation des performances des matériaux pour utilisation extérieure, utilisant des tensions plus élevées et des éprouvettes de taille supérieure – voir l'essai avec plan incliné, CEI 60587 [29].

4.6.1.6 Norme applicable

CEI 60112 [27].

4.6.2 Allumage par arc à courant élevé (high-current arc ignition – HAI), UL 746A - Sec. 43

4.6.2.1 But et principe

L'UL 746A – Sec. 43 [30] a été développée pour différencier les matériaux isolants solides en fonction de leur résistance à l'allumage par des sources électriques produisant des arcs. Dans certains cas de fonctionnement normal, et de fonctionnement anormal des matériels électriques, des matériaux isolants peuvent être très proches d'une source produisant des arcs. Si l'intensité et/ou la durée de l'exposition à ces arcs est sévère, le matériau isolant peut s'enflammer.

4.6.2.2 Epreuve

L'éprouvette est constituée d'une barre échantillon mesurant 125 mm $\pm$ 5 mm par 13 mm $\pm$ 0,5 mm au niveau de l'épaisseur à évaluer.

4.6.2.3 Méthode d'essai

Deux électrodes, l'une étant une tige en cuivre et l'autre une tige en acier inoxydable, toutes deux inclinées à 45° par rapport à l'horizontale, sont mises en contact sur la surface de l'éprouvette. L'électrode en acier inoxydable peut être éloignée jusqu'à une distance qui coupe un arc puis remise en contact pour réinitialiser l'arc dans un mouvement cyclique le long de

son axe de 45°. Au début de l'essai, un circuit de 32,5 A (facteur de puissance de 0,5) est mis sous tension et l'électrode mobile subit un cycle de 40 arcs à la minute jusqu'à ce qu'une flamme soit détectée (ou que l'éprouvette supporte 200 arcs sans allumage). L'essai peut également être réalisé avec le contact initial de l'électrode à 1,6 mm ou 3,2 mm au-dessus de la surface.

4.6.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Il n'existe actuellement aucune donnée publiée. Toutefois, il est reconnu que les facteurs suivants contribuent souvent à un écart important dans les données mesurées;

- a) apparition de profils d'arc variables dus à un asynchronisme de la fréquence alternative et à l'initialisation de l'arc,
- b) détérioration des extrémités des électrodes au cours du cycle d'essai, et
- c) manque de contrôle précis de l'électrode mobile.

Une méthode révisée qui traite ces questions (et d'autres) est actuellement en cours d'élaboration aux Etats-Unis.

4.6.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Ces méthodes d'essai sont utilisées pour la présélection des matériaux, pour le contrôle de qualité et l'évaluation des produits. Les données obtenues ont été utilisées pour déterminer dans quelle mesure les matériaux polymères destinés à être utilisés dans les matériels électriques sont adaptés lorsqu'ils sont en contact direct ou à au plus 0,8 mm de sources ne provoquant pas d'arcs (comme les conducteurs ou barres omnibus individuels), ou à au plus 12,7 mm de sources provoquant des arcs (comme les parties de polarité opposée).

4.6.2.6 Normes applicables

ANSI/UL 746A Sec. 43 [30]
CAN/CSA C22.2 [31]

4.6.3 Résistance à l'allumage à arc à haute tension (high-voltage arc resistance to ignition - HVAR), UL 746A - Sec. 44

4.6.3.1 But et principe

L'UL746A – Sec. 44 [32] est utilisée pour différencier les matériaux isolants solides en fonction de leur résistance à l'allumage ou à la formation d'un chemin conducteur carbonisé visible sur la surface du matériau lorsqu'ils sont soumis à la haute tension, à des arcs de faible intensité comme en cas de dysfonctionnement de certaines alimentations haute tension dans les matériels électriques.

4.6.3.2 Epreuve

L'éprouvette est constituée d'une barre échantillon mesurant 125 mm $\pm$ 5 mm par 13 mm $\pm$ 0,5 mm au niveau de l'épaisseur à évaluer. Les éprouvettes sont pré-conditionnées pendant au moins 40 h à 23 °C $\pm$ 2 °C et à 50 % $\pm$ 5 % d'humidité relative.

4.6.3.3 Méthode d'essai

Deux électrodes, toutes deux inclinées à 45° par rapport à l'horizontale, sont placées à 4,0 mm $\pm$ 0,1 mm de la surface de l'éprouvette. Au début de l'essai, un courant initial de 5,2 kV avec un dispositif de limitation du courant de 2,36 mA est utilisé pour créer un arc continu entre les électrodes. L'essai est poursuivi pendant 5 min ou jusqu'à l'allumage ou encore jusqu'à ce qu'un trou se forme dans l'éprouvette.

4.6.3.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

4.6.3.5 Pertinence des résultats d'essai

Ces méthodes d'essai sont utilisées pour la présélection des matériaux, pour le contrôle de qualité et l'évaluation des produits. Les données obtenues ont été jugées utiles pour déterminer dans quelle mesure les matériaux polymères destinés à être utilisés dans les matériels électriques sont adaptés lorsqu'ils sont en contact direct ou très proches (0,8 mm de sources ne provoquant pas d'arcs ou 12,7 mm de sources provoquant des arcs) des parties actives non isolées.

4.6.3.6 Normes applicables

ANSI/UL 746A Sec. 44 [32]

CAN/CSA C22.2, No. 0.17 [31]

Annexe A (informative)

Applicabilité des méthodes d'essai

A.1 Applicabilité des méthodes d'essai

Le Tableau A.1 donne la liste des méthodes d'essai décrites à l'Article 4 et fait la distinction entre les essais de matériaux et les essais de produits finis.

Tableau A.1 – Applicabilité des méthodes d'essai

Paragraphe	Méthode d'essai	Essai de matériau	Essai de produit fini	Observations
4.1.1	Four à air chaud ISO 871	✓	×	Cette méthode permet de mesurer la température d'allumage éclair et la température d'allumage spontané des plastiques
4.1.2	Analyse calorimétrique différentielle ISO 11357	✓	×	Cette méthode permet de mesurer plusieurs propriétés qui affectent l'allumabilité
4.2.1	Méthode au calorimètre conique ISO 5660-1	✓	Si la configuration est appropriée	Il s'agit essentiellement d'un essai de débit calorifique mais le temps avant allumage est mesuré
4.2.2	Dégagement de chaleur des liquides isolants CEI 60695-8-3	✓	✓	Il s'agit d'un essai pour les liquides isolants. Il s'agit essentiellement d'un essai de débit calorifique mais le temps avant allumage est mesuré
4.2.3	Essai d'allumage des matériaux et de propagation de la flamme ASTM E1321-97a	✓	✓	Cet essai est essentiellement utilisé pour évaluer les matériaux utilisés à l'intérieur des bâtiments
4.2.4	ICHF d'une source de flamme CEI 60695-11-11	✓	✓	Cet essai mesure le temps avant allumage en fonction du flux thermique provenant d'une flamme n'étant pas en contact
4.3.1	Indice d'oxygène – Essai à la température ambiante, ISO 4589-2	✓	×	Cet essai examine si la combustion persiste après l'allumage. La fraction volumique d'oxygène est variable
4.3.2	Indice d'oxygène – Essai à haute température ISO 4589-3	✓	×	Cet essai examine si la combustion dans l'air persiste après l'allumage. La température est une variable
4.4.1.1	Essai au fil incandescent pour les produits finis CEI 60695-2-11	×	✓	La source d'allumage est un fil chauffant

Tableau A.1 (suite)

Paragraphe	Méthode d'essai	Essai de matériau	Essai de produit fini	Observations
4.4.1.2	Essai au fil incandescent pour les matériaux CEI 60695-2-12	✓	×	La source d'allumage est un fil chauffant. L'indice d'inflammabilité au fil incandescent (GWF _I) est déterminé
4.4.1.3	Essai au fil incandescent pour les matériaux CEI 60695-2-13	✓	×	La source d'allumage est un fil chauffant. L'indice d'allumabilité au fil incandescent (GWIT) est déterminé
4.5.1	Essai au brûleur-aiguille CEI 60695-11-5	✓	✓	La source d'allumage est une petite flamme de diffusion
4.5.2	Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W CEI 60695-11-10	✓	×	La source d'allumage est une flamme à pré-mélange de 50 W
4.5.2	Méthodes d'essai à la flamme de 500 W CEI 60695-11-20	✓	×	La source d'allumage est une flamme à pré-mélange de 500 W
4.5.3	Flamme à pré-mélange de 1 kW nominal CEI 60695-11-2	✓	✓	La source d'allumage est une flamme à pré-mélange de 1 kW
4.5.4	Essai vertical et essai à 60° pour les composants aéronautiques FAR 25 – Partie I – Annexe F	×	✓	Il s'agit d'un essai pour les fils et les câbles électriques utilisés en aéronautique
4.6.1	Indice de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides CEI 60112	✓(ITC)*	✓(IRC)**	L'allumage qui provoque des flammes persistantes (combustion de plus de 2 s) est un critère de défaillance pour cet essai
4.6.2	Essai d'allumage par arc à courant élevé (HAI) UL 746A – Sec.43	✓	×	Il s'agit d'un essai utilisé pour évaluer les matériaux polymères isolants
4.6.3	Essai d'allumage par arc à haute tension (HVAR) UL 746A – Sec.44	✓	×	Il s'agit d'un essai utilisé pour évaluer les matériaux polymères isolants
* IRC = Indice de résistance au cheminement				
** ITC = Indice de tenue au cheminement				

..

Bibliographie

- [1] CEI 60695-4 :2005, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques*
- [2] ISO 871, *Plastiques – Détermination de la température d'allumage au moyen d'un four à air chaud*
- [3] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995, pp. 1-103 à 1-106
- [4] Haines, P. J., *Thermal methods of analysis*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1995
- [5] ISO 11357, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC)*
- [6] ISO 5660-1, *Essais de réaction au feu – Débit calorifique, taux de dégagement de fumée et taux de perte de masse – Débit calorifique (méthode au calorimètre conique)*
- [7] ISO 5660-2, *Essais de réaction au feu – Débit calorifique, taux de dégagement de fumée et taux de perte de masse – Taux de dégagement de fumée (mesure dynamique)*
- [8] ASTM E1321-97a(2002), *Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties*
- [9] CEI 60695-11-11 ⁶⁾, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-11: Flammes d'essai – Détermination de l'éclairement énergétique caractéristique d'allumage en utilisant une source de chaleur évitant le contact avec la flamme*
- [10] ISO 4589-2, *Plastiques – Détermination du comportement au feu au moyen de l'indice d'oxygène – Partie 2: Essai à la température ambiante*
- [11] Fenimore and Martin, *Modern Plastics*, 43, p. 141, 1966
- [12] ISO 4589-3, *Plastiques – Détermination du comportement au feu au moyen de l'indice d'oxygène – Partie 3: Essai à haute température*
- [13] Weil, Hirschler, Patel, Said and Shakir, *Fire and Materials*, 16(4), p. 159, 1992
- [14] ISO 4589-1, *Plastiques - Détermination du comportement au feu au moyen de l'indice d'oxygène - Partie 1: Guide*
- [15] CEI 60695-2-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-10: Essais au fil incandescent/chauffant – Appareillage et méthode commune d'essai*
- [16] CEI 60695-2-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-11: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité pour produits finis*
- [17] CEI 60695-2-12, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-12: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'inflammabilité sur matériaux*
- [18] CEI 60695-2-13, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2-13: Essais au fil incandescent/chauffant – Méthode d'essai d'allumabilité pour matériaux*
- [19] ANSI/ASTM D3874-04, *Standard Test Method for Ignition of Materials by Hot Wire Sources*
- [20] CEI 60695-11-5, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-5: Essai au brûleur-aiguille – Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices*

⁶⁾ A l'étude.

- [21] CEI 60695-11-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flammes d'essai – Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W*
- [22] CEI 60695-11-20, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-20: Flammes d'essai – Méthodes d'essai à la flamme de 500 W.*
- [23] CEI 60695-11-4, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-4: Flammes d'essai – Flammes de 50 W – Appareillage et méthodes d'essai de vérification*
- [24] CEI 60695-11-3, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-3: Flammes d'essai – Flammes de 500 W – Appareillage et méthodes d'essai de vérification*
- [25] CEI 60695-11-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-2: Flammes d'essai – Flammes à prémélange de 1 kW nominal – Appareillage, disposition d'essai de vérification et indications*
- [26] CEI 60695-11-40, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-40: Flammes d'essai – Essais de confirmation – Guide*
- [27] FAR 25:1999, *Federal Aviation Regulations – Air worthiness standards – Part 25: Transport category – Airplanes*
- [28] CEI 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*
- [29] CEI/TR 62062:2002, *Résultats de la série d'essais interlaboratoires pour évaluer les modifications proposées à la CEI 60112.*
- [30] CEI 60587, *Electrical insulating materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion* (disponible en anglais seulement)
- [31] UL 746A - Sec. 43, *Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations – Sec. 43: High-current arc ignition test*
- [32] CAN/CSA C22.2, No. 0.17, *Evaluation of Properties of Polymeric Materials.*
- [33] UL 746A - Sec. 44, *Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations – Sec. 44: High-voltage arc ignition test*
- [34] ISO/CEI 13943 :2000, *Sécurité au feu – Vocabulaire*
- [35] CEI 60695-8-3, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 8-3 : Dégagement de chaleur des liquides isolants utilisés dans les produits électrotechniques⁷*

7) A l'étude.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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