

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

HORIZONTAL PUBLICATION
PUBLICATION HORIZONTALE

**Fire hazard testing –
Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes
d'essai**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-7-2:2021



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

HORIZONTAL PUBLICATION
PUBLICATION HORIZONTALE

**Fire hazard testing –
Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods**

**Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes
d'essai**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.220.40; 29.020

ISBN 978-2-8322-1003-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Role of small-scale toxicity tests.....	13
4.1 General.....	13
4.2 <i>Toxic potency</i>	13
4.3 Toxic hazard, <i>exposure dose and fractional effective dose (FED)</i>	14
4.4 <i>Fractional effective concentration (FEC)</i>	14
4.5 Generic toxic potencies.....	14
5 General aspects of small-scale toxicity tests.....	15
5.1 General.....	15
5.2 Physical fire models.....	15
5.3 Fire stages in a compartment fire.....	16
5.4 Methods of analysis	16
5.4.1 General	16
5.4.2 Chemical analysis based methods.....	19
5.4.3 Methods based on animal exposure.....	19
6 Summary of published chemical analysis based test methods	19
6.1 General.....	19
6.2 UK Ministry of Defence – DEF STAN 02-713.....	19
6.2.1 Summary	19
6.2.2 Purpose and principle	20
6.2.3 Test specimen	20
6.2.4 Test method	20
6.2.5 Repeatability and reproducibility	21
6.2.6 Relevance of test data and special observations.....	21
6.3 Airbus industry.....	22
6.3.1 Summary	22
6.3.2 Purpose and principle	22
6.3.3 Test specimen	22
6.3.4 Test method	22
6.3.5 Repeatability and reproducibility	22
6.3.6 Relevance of test data and special observations.....	23
6.4 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)	23
6.4.1 Summary	23
6.4.2 Purpose and principle	23
6.4.3 Test specimen	23
6.4.4 Test method	23
6.4.5 Repeatability and reproducibility	23
6.4.6 Relevance of test data and special observations.....	23
6.5 Norme Française (NF)	24
6.5.1 Summary	24
6.5.2 Purpose and principle	24
6.5.3 Test specimen	24

6.5.4	Test method	24
6.5.5	Repeatability and reproducibility	24
6.5.6	Relevance of test data and special observations	24
6.6	ISO test methods	25
6.6.1	ISO/TS 19021	25
6.6.2	ISO/TS 19700	26
6.7	International Maritime Organization (IMO)	27
6.7.1	Summary	27
6.7.2	Purpose and principle	27
6.7.3	Test specimen	27
6.7.4	Test method	27
6.7.5	Repeatability and reproducibility	28
6.7.6	Relevance of test data and special observations	28
6.8	Toxicity test for rolling stock cables	28
6.8.1	Summary	28
6.8.2	Purpose and principle	29
6.8.3	Test specimen	29
6.8.4	Test method	29
6.8.5	Repeatability and reproducibility	29
6.8.6	Relevance of test data and special observations	30
6.9	Toxicity test of materials and components (other than cables) used in railway applications	30
6.9.1	Summary	30
6.9.2	Purpose and principle	30
6.9.3	Test specimen	30
6.9.4	Test method	30
6.9.5	Repeatability and reproducibility	31
6.9.6	Relevance of test data and special observations	31
7	Summary of published test methods relating to animal exposure	31
7.1	General	31
7.2	Deutsches Institut für Normung, DIN 53436	31
7.2.1	Summary	31
7.2.2	Purpose and principle	31
7.2.3	Test specimen	31
7.2.4	Test method	32
7.2.5	Repeatability and reproducibility	32
7.2.6	Relevance of test data and special observations	32
7.3	National Bureau of Standards (NBS)	33
7.3.1	Summary	33
7.3.2	Purpose and principle	33
7.3.3	Test specimen	33
7.3.4	Test method	33
7.3.5	Repeatability and reproducibility	33
7.3.6	Relevance of test data and special observations	34
7.3.7	Reference documents	34
7.4	National Institute of Standards and Technology, NIST Radiant furnace	34
7.4.1	Summary	34
7.4.2	Purpose and principle	34
7.4.3	Test specimen	35

7.4.4	Test method	35
7.4.5	Repeatability and reproducibility	35
7.4.6	Relevance of test data and special observations	35
7.4.7	Reference documents	36
7.5	University of Pittsburgh, Upitt Box furnace	36
7.5.1	Summary	36
7.5.2	Purpose and principle	36
7.5.3	Test specimen	36
7.5.4	Test method	36
7.5.5	Repeatability and reproducibility	37
7.5.6	Relevance of test data and special observations	37
7.5.7	Reference documents	37
7.6	Japanese fire toxicity test for building components	37
7.6.1	Summary	37
7.6.2	Purpose and principle	37
7.6.3	Test specimen	37
7.6.4	Test method	38
7.6.5	Repeatability and reproducibility	38
7.6.6	Relevance of test data and special observations	38
8	Overview of methods and relevance of data	38
	Bibliography	41
	Figure 1 – Different phases in the development of a fire within a compartment	16
	Table 1 – Characteristics of fire types (ISO 19706)	18
	Table 2 – C_f values for various gases	21
	Table 3 – <i>Volume fraction</i> limits for gas components	22
	Table 4 – Decomposition conditions	26
	The results are expressed as gas <i>volume fractions</i> . Maximum permitted values are given below (see Table 5 – <i>Volume fraction</i> limits for gas component	28
	Table 5 – <i>Volume fraction</i> limits for gas component	28
	Table 6 – CC_Z values taken from EN 50305	29
	Table 7 – Reference concentrations of the gas components	31
	Table 8 – Overview of toxicity test methods	39
	Table 9 – Overview of toxicity test methods (continued, with comments)	40

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –**Part 7-2: Toxicity of fire effluent –
Summary and relevance of test methods****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60695-7-2 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2011. This edition constitutes a technical revision.

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

- New text in the introduction;
- New text in the scope;
- Clause 2 has been updated;
- Many terms and definitions in Clause 3 reproduced from ISO 13943 have been deleted. Other terms and definitions have been added.
- New text in Subclauses 4.3 and 4.4;
- New text in Subclause 6.1;

- References to IEC 60695-7-50 and -51 (now withdrawn) have been removed;
- Reference to DEF STAN 07-247 has been added;
- Details of ISO/TS 19021 have been added;
- Details of EN 17084 have been added;
- New text added concerning ISO/TS 19700;
- New text added concerning the IMO FTP toxicity test;
- New Subclause 7.1 has been added;
- The Annex in Edition 1 has been replaced by new Clause 8;
- The bibliography has been updated.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
89/1489/CDV	89/1508/RVC

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

The language used for the development of this International Standard is English.

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

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

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

IEC 60695-7 consists of the following parts:

- Part 7-1: *Toxicity of fire effluent – General guidance*
- Part 7-2: *Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods*
- Part 7-3: *Toxicity of fire effluent – Use and interpretation of test results*

In this document the following print types are used:

- Words in *italics* in the text are defined in Clause 3.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

INTRODUCTION

In the design of an electrotechnical product, the risk of fire and the potential hazards associated with fire need to be considered. In this respect the objective of component, circuit and equipment design, as well as the choice of materials, is to reduce the risk of fire to a tolerable level even in the event of reasonably foreseeable (mis)use, malfunction or failure.

IEC 60695-1-10, IEC 60695-1-11 [1]¹, and IEC 60695-1-12 [2] provide guidance on how this is to be accomplished.

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

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

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

Electrotechnical products, primarily as the objects of a fire, may contribute to the fire hazard due to the release of toxic effluent, which may be a significant contributing factor to the overall fire hazard.

The IEC 60695-7 series provides guidance to IEC product committees on the adoption and implementation of the recommendations of ISO for the minimization of toxic hazard from fires involving electrotechnical products. This part of IEC 60695-7 describes fire effluent toxicity test methods in common use to assess electrotechnical products or materials used in electrotechnical products.

IEC product committees incorporating requirements for the assessment of toxic hazard from fire in product standards should note that *toxic potency* and other measurements of toxicity which are described in this part of IEC 60695 should not be used directly in product specifications. Data from *toxic potency* test methods should only be used as part of a toxic hazard assessment, in conjunction with other product-based reaction to fire data such as mass loss rate.

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods

1 Scope

This part of IEC 60695-7 gives a brief summary of the test methods that are in common use in the assessment of the toxicity of fire effluent. It includes special observations on their relevance to real fire scenarios and gives recommendations on their use.

It advises which tests provide *toxic potency* data that are relevant to real fire scenarios, and which are suitable for use in fire hazard assessment and fire safety engineering.

The list of test methods is not to be considered exhaustive.

This summary cannot be used in place of published standards which are the only valid reference documents.

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 documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60695-7-1, *Fire hazard testing - Part 7-1: Toxicity of fire effluent - General guidance*

IEC 60695-7-3, *Fire hazard testing - Part 7-3: Toxicity of fire effluent - Use and interpretation of test results*

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

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

ISO 13943:2017, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 13344, *Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents*

ISO 13571:2007, *Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data*

ISO/TR 16312-2, *Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment – Part 2: Evaluation of individual physical fire models*

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

ISO 29903:2012, *Guidance for comparison of toxic gas data between different physical fire models and scales*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 13943:2017, some of which are reproduced below for the user's convenience, and the following apply.

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

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

3.1

acute toxicity

toxicity that causes rapidly occurring toxic effects

Note 1 to entry: Compare with the term *toxic potency* (3.16).

[ISO 13943:2017, definition 3.8]

3.2

asphyxiant

toxicant (3.17) that causes hypoxia, which can result in central nervous system depression or cardiovascular effects

Note 1 to entry: Loss of consciousness and ultimately death may occur.

[ISO 13943:2017, definition 3.23]

3.3

concentration

mass of a dispersed or dissolved material in a given volume

Note 1 to entry: For a fire effluent the typical unit is $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Note 2 to entry: For toxic gas, concentration is usually expressed as a *volume fraction* (3.18) at $T = 298 \text{ K}$ and $P = 1 \text{ atm}$, with typical units of $\mu\text{L/L}$ ($= \text{cm}^3/\text{m}^3 = 10^{-6}$).

Note 3 to entry: The concentration of a gas at a temperature, T , and a pressure, P , can be calculated from its volume fraction (assuming ideal gas behaviour) by multiplying the volume fraction by the density of the gas at that temperature and pressure.

Note 4 to entry: Pascal (Pa) is the SI unit for pressure; however, atmosphere (atm) is typically used in this context, where $1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$.

[ISO 13943:2017, definition 3.62]

3.4 effective concentration 50

*EC*₅₀

concentration (3.3) of a toxic gas or fire effluent, statistically calculated from concentration-response data, that causes a specified effect in 50 % of a population of a given species within a specified exposure time and post-exposure time

Note 1 to entry: Compare with the term *IC*₅₀ (ISO 13943:2017, 3.211).

Note 2 to entry: For fire effluent, the typical unit is g × m⁻³.

Note 3 to entry: For toxic gas, the typical unit is µL/L (*T* = 298 K and *P* = 1 atm); see *volume fraction* (3.18).

Note 4 to entry: The observed effect is usually a behavioural response, *incapacitation* (3.8), or death. The *EC*₅₀ for incapacitation is termed the *IC*₅₀. The *EC*₅₀ for lethality is termed the *LC*₅₀ (3.11).

3.5 exposure dose

measure of the maximum amount of a toxic gas or fire effluent that is available for inhalation, calculated by integration of the area under a *concentration*-time curve

Note 1 to entry: For fire effluent, the typical unit is g × min × m⁻³.

Note 2 to entry: For toxic gas, the typical unit is µL × min × L⁻¹ (*T* = 298 K and *P* = 1 atm); see *volume fraction* (3.18).

[ISO 13943:2017, definition 3.107]

3.6 fractional effective concentration

FEC

ratio of the *concentration* (3.3) of an *irritant* (3.9) to that concentration expected to produce a specified effect on an exposed subject of average susceptibility

Note 1 to entry: Compare with the term *F factor* (ISO 13943:2017, 3.112).

Note 2 to entry: As a concept, *FEC* may refer to any effect, including *incapacitation* (3.8), lethality or other endpoints.

Note 3 to entry: When not used with reference to a specific irritant, the term *FEC* represents the summation of *FEC* values for all irritants in a fire-generated atmosphere.

Note 4 to entry: The *FEC* is dimensionless.

[ISO 13943:2017, definition 3.187]

3.7 fractional effective dose

FED

ratio of the *exposure dose* (3.5) for an *asphyxiant* (3.2) to that exposure dose of the asphyxiant expected to produce a specified effect on an exposed subject of average susceptibility

Note 1 to entry: As a concept, *FED* may refer to any effect, including *incapacitation* (3.8), lethality or other endpoints.

Note 2 to entry: When not used with reference to a specific asphyxiant, the term *FED* represents the summation of *FED* values for all asphyxiants in a combustion atmosphere.

Note 3 to entry: The *FED* is dimensionless.

[ISO 13943:2017, definition 3.188]

3.8 incapacitation

state of physical inability to accomplish a specific task

Note 1 to entry: An example of a specific task is to accomplish escape from a fire.

[ISO 13943:2017, definition 3.225]

3.9

irritant, noun

<sensory/upper respiratory> gas or aerosol that stimulates nerve receptors in the eyes, nose, mouth, throat and respiratory tract, causing varying degrees of discomfort and pain with the initiation of numerous physiological defence responses

Note 1 to entry: Physiological defence responses include reflex eye closure, tear production, coughing, and bronchoconstriction.

[ISO 13943:2017, definition 3.237]

3.10

irritant, noun

<pulmonary> gas or aerosol that stimulates nerve receptors in the lower respiratory tract, which may result in breathing discomfort

Note 1 to entry: Examples of breathing discomfort are dyspnoea and an increase in respiratory rate. In severe cases, pneumonitis or pulmonary oedema (which may be fatal) may occur some hours after exposure.

[ISO 13943:2017, definition 3.238]

3.11

lethal concentration 50

LC_{50}

concentration (3.3) of a toxic gas or fire effluent, statistically calculated from concentration-response data, that causes death of 50 % of a population of a given species within a specified exposure time and post-exposure time

Note 1 to entry: Compare with the term *effective concentration 50* (3.4).

Note 2 to entry: For fire effluent, the typical unit is $g \times m^{-3}$.

Note 3 to entry: For toxic gas, the typical unit is $\mu L/L$ ($T = 25\text{ }^{\circ}C$ and $P = 1\text{ atm}$; see *volume fraction* (3.18)).

[ISO 13943:2017, definition 3.241]

3.12

lethal exposure dose 50

LCt_{50}

product of LC_{50} (3.11) and the exposure time over which it was determined

Note 1 to entry: Compare with the terms *concentration* (3.3), *effective exposure dose 50* (ISO 13943:2017, 3.87), *exposure dose* (3.5) and *lethal exposure time 50* (ISO 13943:2017, 3.243).

Note 2 to entry: LCt_{50} is a measure of *lethal toxic potency* (3.13).

Note 3 to entry: For fire effluent, the typical unit is $g \cdot min \cdot m^{-3}$.

Note 4 to entry: For toxic gas, the typical unit is $\mu L \cdot min \cdot L^{-1}$ ($T = 25\text{ }^{\circ}C$ and $P = 1\text{ atm}$); see *volume fraction* (3.18).

[ISO 13943:2017, definition 3.242]

3.13

lethal toxic potency

toxic potency (3.16) where the specific toxic effect is death

Note 1 to entry: Compare with the terms *lethal concentration 50* (LC_{50}) (3.11) and *lethal exposure dose 50* (LCt_{50}) (3.12).

[ISO 13943:2017, definition 3.244]

3.14

mass loss concentration

(closed system) mass of the test specimen consumed during combustion divided by the test chamber volume

Note 1 to entry: The typical unit is $g \times m^{-3}$.

[ISO 13943:2017, definition 3.262]

3.15

mass loss concentration

(open system) mass of the test specimen consumed during combustion divided by the total volume of air passed through the test apparatus

Note 1 to entry: The definition assumes that the mass is dispersed in the air flow uniformly over time.

Note 2 to entry: The typical unit is $g \times m^{-3}$.

[ISO 13943:2017, definition 3.263]

3.16

toxic potency

measure of the amount of *toxicant* (3.17) required to elicit a specific toxic effect

Note 1 to entry: Compare with the terms *effective exposure dose 50* (ISO 13943:2017, 3.87) and *lethal exposure dose 50* (3.12).

Note 2 to entry: A small value of toxic potency corresponds to a high toxicity, and vice versa.

ISO 13943:2017, definition 3.402

3.17

toxicant

toxin

toxic substance

ISO 13943:2017, definition 3.404

3.18

volume fraction

(gas in a gas mixture) ratio of the volume that the gas alone would occupy at a defined temperature and pressure, to the volume occupied by the gas mixture at the same temperature and pressure

Note 1 to entry: The *concentration* (3.3) of a gas at a temperature, T , and a pressure, P , can be calculated from its volume fraction (assuming ideal gas behaviour) by multiplying the volume fraction by the density of the gas at that temperature and pressure.

Note 2 to entry: Unless stated otherwise, a temperature of 298 K and a pressure of 1 atm are assumed.

Note 3 to entry: The volume fraction is dimensionless and is usually expressed in terms of $\mu L/L$ ($= cm^3/m^3 = 10^{-6}$), or as a percentage.

ISO 13943:2017, definition 3.421

3.19**volume yield**

volume, at 298 K and 1 atm, of a component of fire effluent divided by the mass loss of the test specimen associated with the production of that volume

Note 1 to entry: The typical unit is $\text{m}^3 \times \text{g}^{-1}$.

ISO 13943:2017, definition 3.422

4 Role of small-scale toxicity tests**4.1 General**

Small-scale toxicity tests, and *toxic potency* tests in particular, serve a very specific purpose – to generate data to be used in toxic hazard assessments, fire hazard assessments, or fire-safety engineering calculations.

These tests are often wrongly interpreted as providing data which give a direct indication of the toxicity or toxic hazard associated with a material or product. Such interpretations are invalid and are contrary to the guidance given in ISO 19706 and IEC 60695-7-1, and are likely to lead to incorrect assumptions about the contribution of a given material or product to toxic hazard.

Therefore, the data from small-scale toxicity tests should not be used directly in product specifications, or to imply in isolation, any level of toxic hazard.

Data from *toxic potency* test methods should only be used as part of a toxic hazard assessment in conjunction with other product based reaction to fire data such as mass loss rate.

Guidance for the comparison of toxic gas data between different physical fire models and scales is given in ISO 29903:2012.

4.2 Toxic potency

The term *toxic potency* is a specific technical term in fire science. It is the measure of the amount of *toxicant* required to elicit a specific toxic effect. One specific *toxic potency* that is commonly used is the *exposure dose* that causes the death of 50 % of exposed organisms. This is known as the LCt_{50} (*lethal exposure dose 50*).

The *exposure dose* of the i^{th} toxic component, $[D]_i$, in a mixture of toxic components, is defined by the following equation:

$$[D]_i = \int C_i dt = X_i \frac{1}{V} \int m dt = X_i D_m$$

or, if the *volume fraction* of the i^{th} toxic component is constant over time,

$$[D]_i = C_i \times t$$

where

C_i is the *volume fraction* of the i^{th} toxic component;

X_i is the *volume yield* of the i^{th} toxic component from a *toxic potency* test;

D_m is the mass loss concentration integral, which is the integral of the mass lost over the exposure time, t , divided by the volume of the fire effluent;

m is the mass of the test specimen lost during the time of exposure;
 t is the exposure time, and
 V is the volume into which the fire effluent is dispersed.

In both cases the *exposure dose* has units of *volume fraction* × time, e.g. min.

In some cases, m/V , known as *mass loss concentration*, is used instead of the *volume fraction*, in which case the *exposure dose* has units of *concentration* × time, e.g. $\text{g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$.

Suppose that a 30 min exposure to a mass loss concentration of $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ causes the defined effect, then the *toxic potency* of the material is $600 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$. This means that, for example, an exposure of 10 min to a *mass loss concentration* of $60 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ is assumed to cause the defined effect. Similarly, an exposure of 20 min to a *mass loss concentration* of $30 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ is also assumed to cause the same defined effect.

The *toxic potency* of the fire effluent from a given material will vary according to the physical fire model used to generate the fire effluent. In particular, temperature and ventilation conditions are critical variables. This is discussed further in 5.1.

4.3 Toxic hazard, exposure dose and fractional effective dose (FED)

Toxic potency is only one of the factors which determines the toxic hazard posed in any given fire scenario in that it defines the toxic effect caused by the fire effluent, expressed per unit of mass loss. To estimate the toxic hazard posed by a particular product in a given scenario, it is equally important to have the data which define how much fire effluent is released, as a function of time (the mass loss characteristics of the product), and to know the volume into which this fire effluent is dispersed.

For a given dispersal volume, the toxic hazard is proportional to the product of the *toxic potency* and the mass loss rate characteristics of the product in question. Therefore a material with a high *toxic potency* and low end product mass loss rate could pose a similar toxic hazard to a material with low *toxic potency* and high end product mass loss rate.

The *exposure dose* takes into account the concentration of a *toxicant* and the time of exposure, and the *fractional effective dose (FED)* is the fraction of the dose that is expected to produce a specified effect. Originally the *FED* concept was restricted to asphyxiants but is now considered to also apply to *irritants* – see 4.4.

4.4 Fractional effective concentration (FEC)

Until relatively recently, for sensory and/or upper respiration *irritants*, the basic principle for assessing the toxic hazard involved only the *concentration* of each *irritant*. *Fractional effective concentrations (FECs)* were determined for each *irritant* at each discrete increment of time. The time at which their sum exceeded a specified threshold value represented the time available for escape relative to chosen safety criteria.

However, this approach has now been discontinued by ISO in favour of calculations based on the *FED* concept (see ISO 13571).

4.5 Generic toxic potencies

It is important to realise that to carry out a toxic hazard assessment it is not always necessary to have *toxic potency* data on the material(s) in question. Extensive work in ISO and work published elsewhere has shown that most materials produce fire atmospheres of similar *toxic potency*.

Therefore, for the purpose of an initial toxic hazard assessment of any fire scenario, it has been recommended that a generic *toxic potency* of $900 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$ is assumed for all materials in

well-ventilated pre-flashover fires and $450 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$ for vitiated post-flashover fires (see 7.4 of ISO 13571:2007). The robustness of assuming a generic toxic potency can then be evaluated by repeating the assessment, using *toxic potency* values of 50 % and 200 % of the assumed generic value. If the alternative *toxic potency* values significantly change the outcome of the assessment, then further, more accurate *toxic potency* data may be required.

5 General aspects of small-scale toxicity tests

5.1 General

Small-scale toxicity tests are comprised, essentially, of two parts:

- a) decomposition conditions (the physical fire model), which should be such that they generate fire effluent which has the same relative composition as that which would be produced in a specific stage of a real fire, and
- b) evaluation methods for the fire effluent to assess or calculate *toxic potency*, which can be carried out by either exposing animals to the fire effluent, in a controlled manner, and monitoring their response, or by carrying out chemical analyses of the fire effluent and estimating *toxic potency* from their *concentrations*.

A critical part of any method is to be able to relate the toxic effect or *concentrations* observed to the mass loss of the material under test.

5.2 Physical fire models

Because physical fire models differ, a given material does not have a single *toxic potency* associated with it.

The composition of the fire effluent from a given material is not an inherent property of that material, but is critically dependent on the conditions under which that material is burnt. Therefore, the *toxic potency* of fire effluent is dependent on burning conditions. Decomposition temperature and the amount of ventilation are the main variables which affect the composition of fire effluent, and hence the *toxic potency*.

These variables have a critical effect because they affect the nature and the amounts of both *asphyxiant* and *irritant* species that are produced. For example, if a material contains nitrogen, then in vitiated conditions ammonia and hydrogen cyanide tend to be formed, whereas in well-ventilated conditions oxides of nitrogen tend to be produced.

Burning conditions also affect the efficiency of the conversion of carbon to oxides of carbon (carbon monoxide and carbon dioxide – the CO_2/CO ratio). A lower CO_2/CO ratio indicates a higher proportion of carbon monoxide, which will result in a lower *toxic potency* value (i.e. more toxic)

It is critical to show that the test conditions defined in a standardized test method (the physical fire model) are relevant to, and replicate, the desired fire type in the fire scenario of concern. ISO has published a general classification of fire types in ISO 19706, as shown in Table 1. The important factors affecting the *toxic potency* of fire effluent are oxygen concentration and irradiance/ temperature.

In ISO 16312-1 [4] guidance is given concerning the criteria for the assessment of the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment and ISO/TR 16312-2 gives evaluations of individual physical fire models.

ISO 19703 [5] provides definitions and equations for the calculation of toxic product yields and the fire conditions under which they have been derived in terms of equivalence ratio and combustion efficiency.

5.3 Fire stages in a compartment fire

A general pattern can be established for fire development within a compartment, where the general temperature-time curve shows three stages, plus a decay stage (see Figure 1 and Table 1).

Stage 1 (non-flaming decomposition) is the incipient stage of the fire prior to sustained flaming, with little rise in the fire room temperature. Smoke and toxic effluent production are the main threats during this stage. Fire types 1a, 1b and 1c can all occur during this stage. Stage 2 (developing fire) starts with ignition and ends with an exponential rise in fire room temperature. Spread of flame, heat release and the production of smoke and toxic effluent are the main threats during this stage. Fire type 2 corresponds to this stage. Stage 3 (fully developed fire) starts when the surface of all of the combustible contents of the room has decomposed to such an extent that sudden ignition occurs all over the room, with a rapid and large increase in temperature (flashover). Fire type 3b corresponds to this stage.

At the end of Stage 3, the combustibles and/or oxygen have been largely consumed and hence the temperature decreases at a rate which depends on the ventilation and the heat and mass transfer characteristics of the system. This is known as the decay stage.

In each of these stages, a different mixture of decomposition products may be formed and this, in turn, will influence the toxicity of the fire effluent produced during that stage.

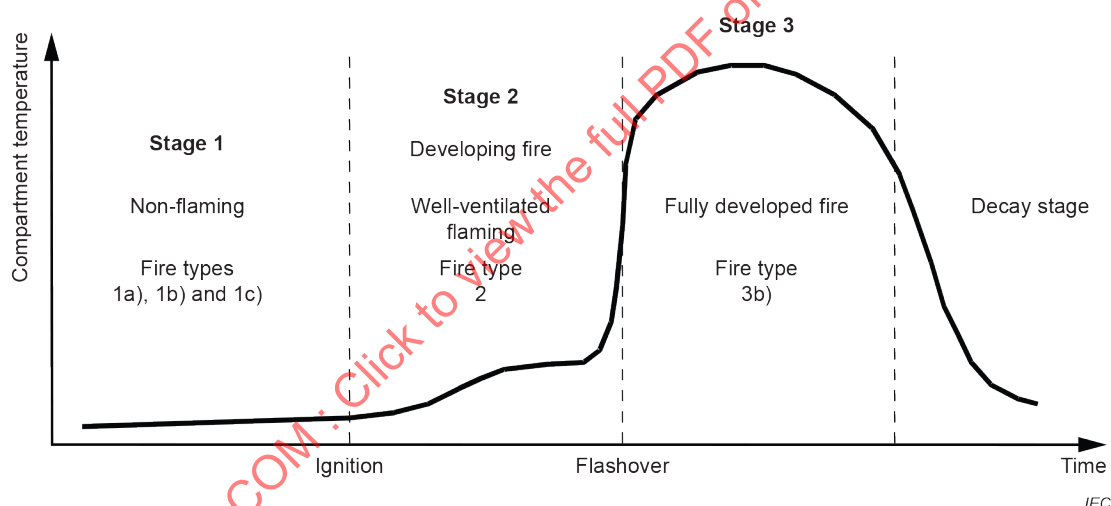


Figure 1 – Different phases in the development of a fire within a compartment

5.4 Methods of analysis

5.4.1 General

Early studies on the toxicity of fire effluent were based largely on the chemical analysis of fire gases and often gave faulty conclusions because of the poor quality of the data concerning the *toxic potency* of individual gases, and the lack of appreciation of the role of decomposition temperature and ventilation.

Work in the 1970s and early 1980s focused on animal tests on the basis that a complete understanding of the potential interactions between the individual components of fire effluent, and the possible presence of products exhibiting unusually high specific toxicity, could only be determined by animal exposure.

The conclusions from this work are that there are only moderately interactive effects between the constituents of fire effluent, and that there has not been an example of the presence of

products exhibiting unusually high specific toxicity in fire effluent. Toxic potencies of fire effluent from most materials have been found to be within one and a half orders of magnitude.

It is possible to calculate toxic potencies of fire gas mixtures reasonably accurately, based on the results of chemical analyses, and the toxicological data already available from animal testing. This avoids the need to use animals in the routine measurement of *toxic potency*, although it is recognized that some limited use of animal based tests may be necessary when the base toxicological data for a particular fire effluent are not available.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-7-2:2021

Fire type	Heat flux to fuel surface kW/m ²	Max. temperature °C		Oxygen volume %		Fuel/air equivalence ratio (plume)	$\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}$ v/v	$\frac{100 \times [\text{CO}_2]}{([\text{CO}_2] + [\text{CO}])}$ % efficiency
		Fuel surface	Upper layer	Entrained	Exhausted			
1. Non-flaming								
a) self-sustaining (smouldering)	not applicable	450 to 800	25 to 85 ^d	20	20	—	0,1 to 1	50 to 90
b) oxidative pyrolysis from externally applied radiation	—	300 to 600 ^a	b	20	20 ^c	< 1	c	c
c) anaerobic pyrolysis from externally applied radiation	—	100 to 500	b	0	0	>> 1	c	c
2. Well-ventilated flaming ^d	0 to 60	350 to 650	50 to 500	≈ 20	≈ 20	< 1	< 0,05 ^e	> 95
3. Under-ventilated flaming ^f								
a) small, localized fire, generally in a poorly ventilated compartment	0 to 30	300 to 600 ^a	50 to 500	15 to 20	5 to 10	> 1	0,2 to 0,4	70 to 80
b) post-flashover fire	50 to 150	350 to 650 ^g	> 600	< 15	< 5	> 1 ^h	0,1 to 0,4 ⁱ	70 to 90
a The upper limit is lower than for well-ventilated flaming combustion of a given combustible. b The temperature in the upper layer of the fire room is most likely determined by the source of the externally applied radiation and room geometry. c There are few data; but for pyrolysis, this ratio is expected to vary widely depending on the material chemistry and the local ventilation and thermal conditions. d The fire's oxygen consumption is small compared to that in the room or the inflow, the flame tip is below the hot gas upper layer or the upper layer is not yet significantly vitiated to increase the CO yield significantly, the flames are not truncated by contact with another object, and the combustion rate is controlled by the availability of fuel. e The ratio may be up to an order of magnitude higher for materials that are fire-resistant. There is no significant increase in this ratio for equivalence ratios up to ≈ 0,75. Between ≈ 0,75 and 1, some increase in this ratio may occur. f The fire's oxygen demand is limited by the ventilation opening(s); the flames extend into the upper layer. g Assumed to be similar to well-ventilated flaming. h The plume equivalence ratio has not been measured; the use of a global equivalence ratio is inappropriate. i Instances of lower ratios have been measured. Generally, these result from secondary combustion outside the room vent.								

a The upper limit is lower than for well-ventilated flaming combustion of a given combustible.

b. The temperature in the upper layer of the fire room is most likely determined by the source of the externally applied radiation and room geometry.

^c There are few data; but for pyrolysis, this ratio is expected to vary widely depending on the material chemistry and the local ventilation and thermal conditions.

The fire's oxygen consumption is small compared to that in the room, the flame tip is below the hot gas upper layer or the upper layer is not yet significantly vitiated to increase the CO yield significantly, the flames are not truncated by contact with another object, and the combustion rate is controlled by the availability of fuel.

^e The ratio may be up to an order of magnitude higher for materials that are fire-resistant. There is no significant increase in this ratio for equivalence ratios up to ≈ 0.75 . Between ≈ 0.75 and 1, some increase in this ratio may occur.

The fire's oxygen demand is limited by the ventilation opening(s); the flames extend into the upper layer.

9 Assumed to be similar to well-ventilated flamingo.

The plume equivalence ratio has not been measured; the use of a global equivalence ratio is inappropriate.

Instances of lower ratios have been measured. Generally, these result from secondary combustion outside the room vent.

5.4.2 Chemical analysis based methods

Chemical analysis based methods use conventional laboratory analytical techniques to measure, either statically or dynamically, the concentrations of various gases in the fire effluent generated by the physical fire model [6].

There are several factors which have a critical impact on the accuracy of chemical analysis based techniques:

- a) the effluent species selected for analysis should be broad enough to cover the species that could reasonably be expected to be released, based on knowledge of the composition of the material under test.

In all cases, carbon dioxide, carbon monoxide and oxygen should be measured.

- c) there shall be a reliable method to assess the mass loss of the test specimen during the test, in order to be able to convert the gas concentrations measured to concentrations per unit mass loss of test specimen;
- d) it shall be possible to convert the measured gas concentrations and mass loss into *toxic potency* values. See IEC 60695-7-3 for a calculation method.

In ISO 19701 [7], methods for the sampling and analysis of fire effluents are reviewed, and in ISO 19702 [8] guidance is given on the use of FTIR (Fourier transform infra-red analysis).

5.4.3 Methods based on animal exposure

It is not recommended that any further work should be conducted on methods based on animal testing.

NOTE If test specimen mass loss is not measured in an animal exposure test, then the yields of toxic components cannot be calculated.

6 Summary of published chemical analysis based test methods

6.1 General

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

The chemical analysis based test methods reviewed in this clause were selected on the basis that they are published international, national or industry standards, and are in common use in the electrotechnical field. It is not intended to review all possible test methods.

In cases where fire tests are not yet specified, and need to be developed or altered for the special purpose of an IEC technical committee, this shall be done in liaison with Technical Committee 89. The test method(s) selected shall be relevant to the fire scenario of concern. Guidance on the selection and relevance of fire tests for electrotechnical products is given in IEC 60695-1-10.

6.2 UK Ministry of Defence – DEF STAN 02-713

6.2.1 Summary

The test described in DS 02-713 [9] explores the toxicity of products of combustion in terms of small molecular species arising when a small sample of a material is completely burnt in excess air under specified conditions.

NOTE This has now been superseded by DEF STAN 07-247 [10]. Test P6 calls up either the IMO test method (see 6.7) or NF X70-100 (see 6.5) with different C_f values (see Table 2). A note states that DS 02-713 may still be used for testing, if agreed with the Naval Advisory Group Technical Authority.

6.2.2 Purpose and principle

Analytical data of certain small molecular gaseous species arising from the complete combustion under flaming conditions of the material under test are mathematically computed using the exposure level (*volume fraction*) of each gas to cause death within 30 min as a base, to derive a combined toxicity index.

6.2.3 Test specimen

A sufficient number of test specimens (normally three) are cut from the material under test. The mass of the test specimen is chosen so as to provide optimum analytical precision, dependent on the nature of the combustion products and the sensitivity of the analytical procedure.

6.2.4 Test method

The apparatus is an airtight enclosure of at least 0,7 m³ lined with opaque plastic sheeting such as polypropylene. The chamber is equipped with a mixing fan. A methane burner having a temperature of 1 150 °C ± 50 °C is the heat source, and the test specimen is supported to locate it within the flame boundary. The burn period is continued to ensure complete combustion of the whole test specimen, and the time is recorded.

The test chamber atmosphere is sampled using colorimetric gas detection tubes. After complete combustion, the burner is extinguished. For a period of 30 s a mixing fan is used. This is switched off and the gases are sampled. Tests for halogen containing gases are performed first. The gases monitored are: carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen sulphide, ammonia, formaldehyde, hydrogen chloride, acrylonitrile, sulphur dioxide, oxides of nitrogen (NO_x), phenol, hydrogen cyanide, hydrogen bromide, hydrogen fluoride, and phosgene.

A background correction factor for the gases to be measured is also determined using a test run with no sample present.

The results are expressed as a toxicity index, based on a weighted calculation as follows:

$$\text{Toxicity index} = \sum C_{\theta} / C_f$$

where

C_f is the *volume fraction* of the gas considered lethal for a 30 min exposure time as shown in Table 2;

C_{θ} is the volume fraction of each gas produced when 100 g of material is burnt and the combustion products are dispersed into 1 m³ of air.

Table 2 – C_f values for various gases

Gas	C_f value $\times 10^6$ DS 02-713	C_f value $\times 10^6$ DS 07-247
Carbon dioxide	100 000	100 000
Carbon monoxide	4 000	1450
Hydrogen sulphide	750	-
Ammonia	750	-
Formaldehyde	500	-
Hydrogen chloride	500	500
Acrylonitrile	400	400
Sulphur dioxide	400	120
Nitrogen oxides	250	100
Phenol	250	-
Hydrogen cyanide	150	90
Hydrogen bromide	150	150
Hydrogen fluoride	100	0
Phosgene	25	-
Acrolein	-	5

6.2.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

Early versions of the test suffered from poor reproducibility due to the inadequate specification of the test chamber. The use of colorimetric tubes also introduces significant errors both due to the lack of precision of the tubes, and also the time delay caused by the sequential analysis method. There can be significant decay in the gas concentrations during the sampling period, which can be as long as 30 min.

6.2.6 Relevance of test data and special observations

This test method is now widely criticized; see e.g. ISO 16312-2 and reference [11]:

- the combination of flame temperature and ventilation conditions mean that the physical fire model used in this method does not correspond to any of the fire types described in Table 1;
- the weighting values used in the calculation of the overall toxicity index are outdated and liable to cause unjustified bias against certain classes of materials, and
- the data are expressed in a format which is unsuitable for use in toxic hazard assessment.

Overall, this method is not recommended as the basis for further development for electrotechnical products. It should not be used as the basis for regulation or other controls on the toxic hazard for electrotechnical products, because of the limitations of the physical fire model, the calculation method and the format of the final data. The data from this test should not be used as input to toxic hazard assessments, fire hazard assessments or fire safety engineering calculations.

In common with many physical fire models, no indication is given about the rate of combustion, so flame retarded materials can be forced to undergo combustion at the same rate as materials without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire types is required for fire hazard assessments.

6.3 Airbus industry

6.3.1 Summary

Airbus ABD 0031 [12] contains the fire worthiness design criteria for use inside the pressurized section of the fuselage of Airbus commercial aeroplanes. It specifies the fire-smoke-toxicity (FST) requirements and the applicable test methods. The following relates to the toxicity requirements only.

6.3.2 Purpose and principle

Non-metallic parts and sub-assemblies that are intended to be used inside the pressurized portion of the fuselage of transport category aircraft, except for materials used in small parts such as knobs, handles, rollers, fasteners, clips, grommets, rubber strips, pulleys and small electrical parts, are tested as described in 6.3.4.

6.3.3 Test specimen

Test specimens are 76,2 mm × 76,2 mm × the intended installation thickness.

6.3.4 Test method

The test is performed in combination with (not simultaneously) the smoke density test in the NBS (National Bureau of Standards) smoke chamber according to ASTM E-662 [13].

The gas sampling procedure starts immediately after the 4 min smoke test run and after 16 min for electrical wire/cable insulation materials.

At least two test specimens are tested for each test condition (flaming and non-flaming).

Methods used for chemical analysis are e.g. ion chromatography or gas chromatography. Other methods may be used but it has to be demonstrated by comparison tests that equivalent results are obtained.

The observed *volume fractions* of the following gases are compared against the specification limits. The average *volume fraction* of the following gas components of smoke should not exceed the limits listed in Table 3 within the relevant test duration (4 min and 16 min respectively), under both flaming and non-flaming conditions.

Table 3 – Volume fraction limits for gas components

Gas component	Limit of volume fraction × 10 ⁶
Hydrogen fluoride	100
Hydrogen chloride	150
Hydrogen cyanide	150
Sulfur dioxide	100
Nitrous gases	100
Carbon monoxide	3 500

6.3.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.3.6 Relevance of test data and special observations

Fire and ventilation conditions do not allow a comparison between this physical fire model and any of the fire types described in Table 1.

Only a limited number of gas components is considered.

6.4 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)

6.4.1 Summary

The test described in CEI 20-37/7 [17] is used for the determination of opacity and corrosivity of smoke, and a toxicity index of gases evolved during the combustion of electric cables and their compounds.

6.4.2 Purpose and principle

This test is used to measure the quantity of various gases evolved during the combustion of a small test specimen of material in a tube furnace with continuous air flow.

A toxicity index is calculated based on measured gas concentrations and a series of weighting factors.

6.4.3 Test specimen

The test specimen, with a typical mass of 1,0 g, consists of a piece of material or a test specimen cut from an end-product.

6.4.4 Test method

The test specimen is introduced into a quartz tube in a tube furnace set at $800\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ and an air flow of $120\text{ L} \times \text{h}^{-1} \pm 5\text{ L} \times \text{h}^{-1}$ is passed through the tube and over the test specimen.

The fire effluent is passed through wash bottles, and the insoluble effluent is collected in a gas bag.

The gases monitored include: carbon monoxide, carbon dioxide, sulphur dioxide, formaldehyde, ammonia, hydrogen cyanide, hydrogen chloride, hydrogen bromide, hydrogen fluoride, hydrogen sulphide, acrylonitrile and nitrogen oxides.

Different methods are used for chemical analysis, e.g. spectrophotometry, gas chromatography, infrared analysis and potentiometry.

6.4.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.4.6 Relevance of test data and special observations

The test temperature and ventilation conditions in this method are such that the physical fire model does not correspond to any of the fire types described in Table 1. However, with modifications to either the test temperature or air flow rate, the physical fire model could be made to replicate fire types 2 or 3b (see Table 1).

The mass loss of the test specimen is not recorded during or after the test and, therefore, results cannot be expressed as *toxic potency*.

In common with many physical fire models, no indication is given about the rate of combustion, so flame retarded materials can be forced to undergo combustion at the same rate as materials

without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire types is required for fire hazard assessments.

A similar test, AFAP-3 [18], has been developed by NATO, in which tests are carried out at 350 °C or 800 °C in an air flow of $2 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$. In addition to the determination of carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen cyanide, hydrogen fluoride, hydrogen chloride, hydrogen bromide, nitrogen oxides and sulphur dioxide, this variant requires the determination of acrylonitrile, ammonia, phenol, benzene, styrene and toluene under both conditions, and also the determination of hydrogen sulphide, formic acid, carbon disulphide and acetaldehyde at 350 °C.

6.5 Norme Française (NF)

6.5.1 Summary

The tests described in NF C20-454 [19] and NF X70-100 [20][21] are used for the determination of a toxicity index of gases evolved during the combustion of test specimens in a tube furnace. NF C20-454 is for materials used in electrotechnical applications, and NF X70-100 was developed for testing products and materials used in the railway industry.

6.5.2 Purpose and principle

This tests measure and quantify the different gases evolved during the combustion or pyrolysis of test specimens.

The gases monitored include: carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen chloride, hydrogen bromide, hydrogen fluoride, hydrogen cyanide, oxides of nitrogen (NO and NO₂), sulphur dioxide, formaldehyde and acrolein.

6.5.3 Test specimen

The test specimen, with a typical mass of 1,0 g, consists of a piece of material or a test specimen cut from an end-product.

6.5.4 Test method

The test specimen is placed in a porcelain boat inside a quartz combustion tube and introduced into an annular furnace set at 800 °C or, in the case of NF X70-100, 400 °C or 600 °C. An air flow of $120 \text{ L} \times \text{h}^{-1}$ is passed through the tube, over the test specimen.

A variety of analytical methods can be used, including chromatography, potentiometry, classical wet chemistry, IR and FTIR.

6.5.5 Repeatability and reproducibility

Data from interlaboratory testing are reported in NF X70-100-1 [20].

6.5.6 Relevance of test data and special observations

The test temperature and ventilation conditions in this method means that the physical fire model does not correspond to any of the fire types as described in Table 1. However, with modifications to either the test temperature or air flow rate, the physical fire model could be made to replicate fire types 2 or 3b (see Table 1).

The mass loss of the test specimen is not recorded during or after the test and, therefore, results cannot be expressed as *toxic potency*.

In common with many physical fire models, no indication is given about the rate of combustion, so flame retarded materials can be forced to undergo combustion at the same rate as materials

without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire types is required for fire hazard assessments.

Results from NF X70-100 tests have been compared with gas yields from real-scale fire tests of materials used in trains [22]. Some reasonable correlations were found for the toxicity of structural materials.

NF X70-100 is one of the toxicity test methods specified in EN 45545-2 [23] and in EN 17084 [26] (see 6.9).

NF X70-100 is discussed in ISO 16312-2.

6.6 ISO test methods

6.6.1 ISO/TS 19021

6.6.1.1 Summary

ISO/TS 19021 [24] specifies a test method to analyse effluents produced during pyrolysis and combustion of a specimen during a test conducted according to ISO 5659-2 [25]. The gas analysis is conducted by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) described in ISO 19702 with additional specification on the test apparatus and analyser and calibration suitable for its application to this physical fire model.

NOTE 1 ISO 5659-2 [25] describes a static smoke test in which a horizontal sample is exposed to radiant heat from a cone heater in a chamber of volume 0,51 m³.

NOTE 2 EN 17084 [26] (see 6.9) specifies a test method which is nearly identical to ISO/TS 19021 [24].

6.6.1.2 Purpose and principle

The purpose of this test method is to analyse the effluent (gas type and concentration) generated from a specimen which is heated by a constant incident heat flux (25 kW × m⁻² or 50 kW × m⁻²) and accumulated in a chamber.

6.6.1.3 Test specimen

The test specimen is an essentially flat square plate with the dimension of 75 mm by 75 mm with a maximum thickness of 25 mm, as specified in ISO 5659-2.

6.6.1.4 Test method

The specimen is prepared and tested according to ISO 5659-2. During the test (determination of optical smoke density), effluent is sampled from the smoke chamber through a heated sampling line (180 °C) and transported to a FTIR gas cell which is also heated to 180 °C. The sampling rate is 1,5 L × s⁻¹. Gas analysis by FTIR is conducted at least every 15 s.

6.6.1.5 Repeatability and reproducibility

Precision data are provided in Annex B of ISO/TS 19021:2018.

6.6.1.6 Relevance of test data and special observations

Fire stages 1b (oxidative pyrolysis) and 3a (well-ventilated flaming combustion) can be tested.

The apparatus is relatively simple to use and is widely available. However, there are disadvantages. The gases are mixed by natural convection and possible stratification could lead to non-representative sampling of the combustion gases. Vitiation may occur with thick or less thermally stable materials and this would affect the yields of combustion products. The equivalence ratio changes during the test. Fire gases pass through the conical heater and may

accumulate in the upper part of the cabinet since fan stirring is not used. Deposition of gas on soot and on the walls of the chamber can occur. There are no reported comparisons of toxic gas generation with data from real-scale fire tests. The method is of questionable value for generating effluent toxicity data for use in fire hazard analysis.

This test method was developed based on the IMO method (see 6.8), and gives a more precise specification of the test apparatus and procedures. A major improvement over the IMO method is to analyse the effluents every 15 s, while the IMO method specifies only one time gas analysis.

NOTE The physical fire model is based on the NBS smoke chamber method, but incorporates many useful enhancements – see IEC 60695-6-2 [27].

6.6.2 ISO/TS 19700

6.6.2.1 Summary

ISO TS 19700 [28] is a tube furnace test method. It is a development of a test first developed in the UK as BS 7990 [29].

NOTE BS 7990 is discussed in ISO 16312-2.

6.6.2.2 Purpose and principle

Samples of a material or product are combusted under steady-state conditions in one or more of four environments whose temperature and equivalence ratio are representative of a particular stage of a fire. The four types of fire to be represented are: oxidative pyrolysis, well-ventilated flaming developing fires, small flaming vitiated fires, and post-flashover vitiated fires, as defined in ISO 19706.

6.6.2.3 Test specimen

The test specimen is uniformly distributed along the length of the combustion boat, so that a constant flow of decomposition products is produced as the sample passes through the quartz furnace tube. The combustible loading should be approximately 20 g spread over 800 mm ($25 \text{ g} \times \text{m}^{-1}$). Preferably the test specimen should be in the form of a rod of uniform cross-sectional area.

6.6.2.4 Test method

Each material is tested under one of the following conditions as listed in Table 4.

Table 4 – Decomposition conditions

Fire type (see Table 1)	Furnace temperature	Primary air flow	Equivalence ratio ϕ
1b, oxidative pyrolysis	350 °C	$2 \text{ dm}^3 \times \text{min}^{-1}$	N/A
2, well-ventilated flaming	650 °C	$10 \text{ dm}^3 \times \text{min}^{-1}$	< 1,0
3a, small vitiated fire in a closed or poorly ventilated compartment	650 °C	variable	2,0
3b, post-flashover fire in an open compartment	825 °C	variable	2,0

6.6.2.5 Repeatability and reproducibility

Repeatability and reproducibility data are given for PMMA, LDPE, PA6,6 and PVC.

6.6.2.6 Relevance of test data and special observations

Toxic potency data can be obtained under conditions corresponding to fire types 1b, 2, 3a and 3b. Two of the informative annexes in ISO/TS 19700 show how the data obtained can be used in accordance with ISO 13344 and ISO 13571. Other informative annexes are:

- Guidance on the choice of additional decomposition conditions;
- use of the tube-furnace method for bioassay purposes;
- measurement of optical density from the steady-state tube furnace;
- comparison of data from the steady-state tube furnace, the ISO 9705-1 [30] room corner test and other compartment fire experiments, and
- assessment of mass-loss rate data

This test method involves preliminary tests so as to set the sample loading and air flow so that, during steady-state decomposition, the desired equivalence ratios of fuel to oxygen are achieved. It is probably the most technically sophisticated standardised *toxic potency* test currently available, but as a consequence is also technically complex, which can be viewed as a limitation.

In common with many physical fire models, no indication is given about how quickly the test material would burn in a real fire, so flame retarded materials are forced to undergo combustion at the same rate as materials without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire scenarios is required for fire hazard assessments.

NOTE BS 7990 is discussed in ISO 16312-2.

6.7 International Maritime Organization (IMO)

6.7.1 Summary

The IMO FTP Code Part 2 [31] fire test procedure for toxic gas production and smoke generation is conducted using the ISO 5659-2 [25] apparatus with FTIR analysis carried out in accordance with ISO 19702. Both smoke density and toxicity are measured during this test.

6.7.2 Purpose and principle

This test method with evaluation criteria is used as a mandatory test method for surface finish materials used on board ships under fire safety requirements of the International Convention of Safety of Life at Sea 1974 (SOLAS) as amended. The test method is specified in the International Code for Application of Fire Test Procedures (FTP Code) adopted by IMO as resolution MSC.307(88) in 2010.

6.7.3 Test specimen

The dimensions of the test specimen are 75 mm × 75 mm, as specified in ISO 5659-2 [25].

6.7.4 Test method

This test method follows in most aspects the procedures of ISO 5659-2 [25]. The duration of the test is for a minimum of 10 min with the test extended for a further 10 min if the minimum light transmittance value has not been reached.

Three test specimens are tested as follows:

- a) 25 kW × m⁻² irradiance in the presence of a pilot flame;
- b) 25 kW × m⁻² irradiance in the absence of a pilot flame; and
- c) 50 kW × m⁻² irradiance in the absence of a pilot flame.

The results are expressed as gas *volume fractions*. Maximum permitted values are given below (see Table 5):

Table 5 – Volume fraction limits for gas component

Gas component	Limit of volume fraction $\times 10^6$
Carbon monoxide	1 450
Hydrogen chloride	600
Sulphur dioxide	120 (200 for floor coverings)
Nitrogen oxides	350
Hydrogen cyanide	140
Hydrogen bromide	600
Hydrogen fluoride	600

6.7.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.7.6 Relevance of test data and special observations

Fire stages 1b (oxidative pyrolysis) and 3a (well-ventilated flaming combustion) can be tested.

The apparatus is relatively simple to use and is widely available. However, there are disadvantages. The gases are mixed by natural convection and possible stratification could lead to non-representative sampling of the combustion gases. Vitiation may occur with thick or less thermally stable materials and this would affect the yields of combustion products. The equivalence ratio changes during the test. Fire gases pass through the conical heater and may accumulate in the upper part of the cabinet since fan stirring is not used. Deposition of gas on soot and on the walls of the chamber can occur. There are no reported comparisons of toxic gas generation with data from real-scale fire tests. The method is of questionable value for generating effluent toxicity data for use in fire hazard analysis. The method specifies only one time gas analysis.

NOTE 1 The physical fire model is based on the NBS smoke chamber method, but incorporates many useful enhancements – see IEC 60695-6-2 [27].

NOTE 2 Tests using this smoke chamber are discussed in ISO 16312-2.

6.8 Toxicity test for rolling stock cables

6.8.1 Summary

The test described in 9.2 of EN 50305 [32] is used to measure the toxicity of combustion products produced when a small sample of a material is completely burnt in excess air under specified conditions. The material is from the insulation or sheath or other non-metallic component taken from a rolling stock cable.

It only applies to materials defined as 'halogen-free'. Quantitative analyses for sulphur dioxide and oxides of nitrogen are only undertaken if preliminary qualitative tests (by sodium fusion) have shown that sulphur and nitrogen are present in the material.

NOTE 'Halogen-free' is as defined in Clause 3 of EN 50306-1 [33].

6.8.2 Purpose and principle

Analytical data of certain small molecular gaseous species arising from the combustion at 800 °C of the material under test are mathematically computed, using for each species a 'critical concentration for a 30 min exposure', to derive a combined toxicity index.

6.8.3 Test specimen

The test specimen is approximately 1 g and is a piece of the insulation or sheath or other non-metallic component taken from a rolling stock cable.

6.8.4 Test method

The apparatus is a tube furnace as described in EN 60754-1 [34].

The combustion tube is maintained at a temperature of 800 °C. A test specimen of material is introduced into the combustion tube and a current of air is passed through the tube over the test specimen to support combustion. The effluent is then analysed for carbon monoxide, carbon dioxide and hydrogen cyanide. If the test sample has been shown to contain sulphur, sulphur dioxide is also analysed. If the test sample has been shown to contain nitrogen, oxides of nitrogen are also analysed.

The air supply can be pushed or pulled. In the latter case air gas bags are used to collect gases at the end of the circuit. When air is pushed, continuous analysis is possible for carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen cyanide and sulphur dioxide. Discontinuous analysis is also possible for these gases as well as for oxides of nitrogen. Details of methods of analysis are given in Annex E of EN 50305 [32].

The results are expressed as a toxicity index, ITC , based on a weighted calculation as follows:

$$ITC = \frac{100 \text{ g} \times \text{m}^{-3}}{m} \sum (M_z / CC_z)$$

where

m is the mass of the test specimen;

M_z is the mass of gas z produced by the combustion of the test specimen, and

CC_z is the critical concentration for a 30 min exposure of gas z (see Table 6).

Table 6 – CC_z values taken from EN 50305

Gas	$CC_z / \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
Carbon dioxide	90 000
Carbon monoxide	1 750
Sulphur dioxide	260
Nitrogen oxides	90
Hydrogen cyanide	55

6.8.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.8.6 Relevance of test data and special observations

The test temperature and ventilation conditions in this test method means that the physical fire model does not correspond to any of the fire types as described in Table 1. However, with modification to the test temperature, the physical fire model could be made to replicate fire type 2.

The weighting values used in the calculation of the overall toxicity index are outdated.

The mass loss of the test specimen is not recorded during or after the test and, therefore, results cannot be expressed as *toxic potency*.

In common with many physical fire models, no indication is given about the rate of combustion, so flame retarded materials can be forced to undergo combustion at the same rate as materials without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire types is required for fire hazard assessments.

6.9 Toxicity test of materials and components (other than cables) used in railway applications

6.9.1 Summary

EN 17084 [26] describes two test methods for determining the composition of gases generated by the combustion of specified railway products:

- Method 1: This is the ISO 5659-2 [25] smoke chamber area-based test with additional Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy gas analysis techniques;
- Method 2: This is the tubular furnace test, NF X70-100-2 [21] (see 6.5).

A conventional index of toxicity, CIT, is calculated:

- CITG: For Method 1;
- CITNLP: For Method 2.

It is recommended that values of FED and FEC should be calculated from Method 1 data.

6.9.2 Purpose and principle

The purpose of either of these test methods is to determine a conventional index of toxicity (CIT) as required by EN 45545-2 [23].

CIT comprises two terms: $CIT = [\text{Precursor Term}] \times [\text{Summation Term}]$

The precursor term defines the fire model, such as the area of a product that is assumed to burn and the volume of the space into which the gaseous effluents are assumed to flow. CIT is always dimensionless and the Summation Term is generally produced from ratios of the emission level to the reference level of the gas components (see Table 7).

6.9.3 Test specimen

For Method 1 the dimensions of the test specimen are 75 mm × 75 mm, as specified in ISO 5659-2. For Method 2 the test specimen is a piece of material cut from an end-product having a typical mass of 1,0 g.

6.9.4 Test method

Method 1: The specimen is prepared and tested according to ISO 5659-2. During the test (determination of optical smoke density), effluent is sampled from the smoke chamber through a heated sampling line and transported to a FTIR gas cell which is also heated to $(180 \pm 10) ^\circ\text{C}$.

The sampling rate is $(1,5 \pm 0,1)$ L min⁻¹. Gas analysis by FTIR is conducted at least every 20 s.

Method 2 is described in 6.5.4.

Table 7 – Reference concentrations of the gas components

Gas component	Reference concentration in mg/m ³
CO ₂	72 000
CO	1 380
HBr	99
HCl	75
HCN	55
HF	25
NO _x	38
SO ₂	262

6.9.5 Repeatability and reproducibility

Data are reported in the results of the European project TRANSFEU [35][36][37]. Data from interlaboratory testing are also reported in NF X70-100-1 [20] for Method 2.

6.9.6 Relevance of test data and special observations

The relevance of Method 1 is the same as for the IMO method (see 6.7). The additional specifications of the test apparatus and procedures are similar to the ISO/TS 19021 method (see 6.6.1). The relevance of Method 2 is the same as for the French standard (see 6.5).

7 Summary of published test methods relating to animal exposure

7.1 General

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

7.2 Deutsches Institut für Normung, DIN 53436

7.2.1 Summary

The test method described in the DIN 53436 series of standards [38][39][40] serves to thermally decompose solid and liquid material under defined conditions in a stream of air, and to assess the relative acute inhalation toxicity of these thermal decomposition products.

7.2.2 Purpose and principle

This test method is used for the generation of thermal decomposition products from materials in an air stream and the determination of toxicity by inhalation of the decomposition and combustion products.

7.2.3 Test specimen

Strip-like test specimens measuring 400 mm × 15 mm × 2 mm are used.

If the density is less than $400 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$, the thickness of the test specimen is measured so that the length related mass ($\text{g} \times \text{cm}^{-1}$) is equal to that of a material with a density of $400 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$.

7.2.4 Test method

The apparatus continuously decomposes a strip-like test specimen in a 1 300 mm long quartz tube. The quartz tube, which has an outside diameter of 40 mm and a wall thickness of 2 mm, is enclosed by a 100 mm long temperature-controlled annular furnace. The furnace is moved at a rate of $10 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$ along the axis of the tube. In doing so it passes over the test specimen, which is in a quartz glass cuvette at the bottom of the quartz tube. A stream of air (variable) is blown over the test specimen opposite to the direction in which the furnace moves.

The contrary motion of the furnace and airflow prevents the hot decomposition gases from preheating the not yet decomposed parts of the test specimen. The test temperature is set between 200°C and 900°C and measured by a reference body. This reference body is a 200 mm long steel rod on which thermocouple is welded and is placed in the test specimen holder. The temperature is fixed by running three tests with the reference body at the same furnace temperature. The test itself is run and, at the end of the quartz tube, the effluent is cooled with fresh air, diluted, and fed into the inhalation chamber where the nose or whole body of the rat is exposed. Gas analysis is also possible during the test.

7.2.5 Repeatability and reproducibility

An evaluation of this method involving three laboratories has been performed [41][42].

7.2.6 Relevance of test data and special observations

The decomposition model of the DIN 53436-1 [38] tubular furnace has been used by different researchers for the determination of LC_{50} (*lethal concentration 50*) data. This physical fire model offers the possibility to decompose materials in strip form under the conditions relevant to fire types 1b, 3a and 3b (see Table 1). The same mass or volume of the material to be tested is decomposed under the specific conditions. Concentration response relationships are easily obtainable, with concentration being varied by dilution of the fire effluents with air.

The method is useful for obtaining toxicological data and gas yields from the combustion or pyrolysis of homogeneous materials. The *lethal toxic potency* data associated with 30 min exposure under specific conditions of the test procedure are determined. The toxicological findings can thus be referred to the test specimen mass, volume or surface area used.

It is also possible to calculate LC_{50} data analytically using the concentration values of the major fire gas components. The number of tests involving animals can therefore be reduced to the absolute minimum.

In common with many physical fire models, no indication is given about the rate of combustion, so flame retarded materials can be forced to undergo combustion at the same rate as materials without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire types is required for fire hazard assessments.

No comparisons of *toxic potency* and gas yield data with real-scale fire test data have been published.

This test method is discussed in ISO 16312-2.

7.3 National Bureau of Standards (NBS)

7.3.1 Summary

The "NBS Cup" furnace test [43] is used for the assessment of the *acute toxicity* of inhaled combustion products.

7.3.2 Purpose and principle

This test method is used for the determination of *toxic potency* through the generation of flaming and non-flaming decomposition effluents in a static closed system utilizing an electrically heated 1 L cup-type crucible furnace attached directly to a 200 L exposure chamber with six animal (rat) exposure ports, and sampling provisions for effluent analysis.

The reported result is the LC_{50} for a 30 min exposure plus a 14 day post exposure period, expressed as the mass of test specimen exposed per unit chamber volume.

7.3.3 Test specimen

The test specimen with a typical mass of up to 8 g can be a piece of material, or a test specimen cut from an end-product.

7.3.4 Test method

A 1 L, stainless steel, electrically heated cup furnace is set to a pre-determined temperature, and the test specimen (typically 1 g to 8 g) is dropped into the furnace, and the resulting effluent is allowed to fill the chamber by convection.

Two modes of combustion, flaming and non-flaming, are prescribed. In the non-flaming mode, the furnace temperature is set to 25 °C below the ignition temperature of the test specimen and in the flaming mode it is set to 25 °C above the ignition temperature of the test specimen. The ignition temperature of the test specimen is determined in the cup furnace prior to the test.

The test is conducted in a 200 L clear plastic test chamber which contains the cup furnace, whose open top is flush with the floor of the test chamber, the animal exposure ports and provision for analytical sampling.

Rats are exposed nose-only to the atmosphere of the test chamber for a period of 30 min, beginning with the introduction of the test specimen into the combustion chamber. Animals which are not dead at the end of the exposure period are observed for a further 14 days. Any deaths within that time are deemed to be the result of combustion product exposure and counted in the LC_{50} determination.

Oxygen, carbon monoxide and carbon dioxide concentrations are continuously monitored.

The results are expressed as LC_{50} under flaming and non-flaming conditions: 30 min chamber exposure plus 14 days post exposure observation, reported as milligrams of sample loaded per litre of chamber volume. The LCt_{50} is calculated by multiplying the LC_{50} by the 30 min exposure time.

Other information recorded includes chamber conditions, maximum temperature and the *concentrations* of oxygen, carbon monoxide and carbon dioxide.

7.3.5 Repeatability and reproducibility

NBS reports indicate relatively good repeatability with this method.

7.3.6 Relevance of test data and special observations

The NBS test has now been largely superseded by the NIST (National Institute of Standards and Technology) test (see 7.4).

The NBS test has been criticized because the cup furnace is best suited for homogeneous materials and does not readily accommodate composite or laminated test specimens. The closed cup geometry means that large, highly-combustible test specimens can lead to rapid temperature build-up and oxygen depletion, both of which can affect the animals' response to combustion products, and hence the relevance of the results.

In addition, it is often difficult to characterize the fire conditions under which the test specimen is decomposed. Air can only enter the cup furnace from the top, so test specimens which burn vigorously and take up a sizeable fraction of the furnace volume may sometimes get comparatively less oxygen than do smaller or less combustible test specimens.

Although carbon monoxide yields tend to vary, little data exist which compare *toxic potency* measured by this test method to that under full-scale conditions, so the practical effect of this limitation is not known.

The results are expressed as mass *concentration* on the basis of the amount of test specimen loaded, instead of the amount converted to volatile effluents. Therefore, when the test specimen is not completely consumed, the expressed results overstate the actual mass *concentration* in the fire effluent and, hence, understate the effluent's *toxic potency*. This can be remedied by weighing the test specimen residue after the test and correcting appropriately, but such a step is not part of the published procedure.

This test method is discussed in ISO 16312-2.

7.3.7 Reference documents

Levin, B.C. et al [43], Levin, B.C., Paabo, M. and Birky, M.M. [44], Hartzell [45].

7.4 National Institute of Standards and Technology, NIST Radiant furnace

7.4.1 Summary

The NIST radiant furnace method is used for *toxic potency* determinations through the generation of flaming and non-flaming decomposition effluents in a static closed system. It is used in NFPA 269 [46] and ASTM E 1678 [47].

The *lethal toxic potency* is first estimated from the combustion atmosphere analytical data utilizing *FED* calculations. This is done so as to minimize the amount of animal testing required for biological response confirmations.

The reported result is the LCt_{50} from the N-gas model for a 30 min exposure plus a 14-day post exposure period, expressed as the product of mass loss of test specimen multiplied by the exposure time per unit test chamber volume.

7.4.2 Purpose and principle

The combustion device consists of a horizontally mounted cylindrical quartz combustion cell, 130 mm inside diameter and approximately 320 mm in length. It is connected to an animal exposure chamber through a stainless steel chimney, which is approximately 30 mm × 300 mm × 300 mm. External to the combustion cell are four tungsten-quartz radiant heat lamps focused onto the plane of the test specimen. A platform, accommodating test specimens of 76 mm × 127 mm and up to 51 mm thick, is connected to a load cell located underneath the combustion chamber in order to continuously monitor the mass of the test specimen. A high energy spark is used as an ignition source.

7.4.3 Test specimen

The test specimen, with a typical mass of up to 8 g, can be a piece of material or a test specimen cut from an end-product. The test specimen platform can accommodate test specimens measuring 76 mm × 127 mm and up to 51 mm thick.

7.4.4 Test method

The vertically oriented cup furnace of the NBS test is replaced by a radiantly heated horizontal combustion cell, which can accommodate a variety of test specimen geometries, and is mounted on a load cell for continuous measurement of mass loss. It is connected to the exposure chamber by means of a stainless steel chimney and a shutter. The test specimen receives radiant heat of a pre-determined intensity through the quartz walls of the combustion cell from two externally mounted radiant lamps, and the effluent passes up the chimney and into the exposure chamber. After 15 min of irradiation, the chimney shutter is closed and the heat lamps are turned off.

In the first part of the test, no animals are used. Instead, a conveniently sized test specimen (typically 5 g) is exposed to the radiant heat load. The composition of the effluent in the test chamber is monitored by the continuous analysis of carbon monoxide, carbon dioxide, oxygen and any other toxic gases whose presence is predicted from the composition of the test specimen (e.g. organics, hydrogen halides, hydrogen cyanide). The animal monitoring period is the 30 min following the exposure of the test specimen, the last 15 min of which are with the lamps turned off and the chimney shutter closed. At the end of the monitoring period, the N-gas model and the analytical data are used to calculate the lethal *FED* of effluent which animals in the chamber would have received if they had been exposed. The test specimen size is adjusted to correspond to a *FED* of approximately 1,1 and the test is repeated for verification.

Once the correlation between test specimen size and *FED* has been established, the procedure is repeated twice using the animals and exposure conditions described above for the NBS test. In the first test, the test specimen size is adjusted to give an expected *FED* of 1,4. If the N-gas model is a good predictor of *toxic potency*, then, at the end of the 14-day post exposure period, one or two animals will have died as a result of the first test and all six as a result of the second. If the N-gas model fails to predict mortality, then the effluent contains agents that are not included in the N-gas model and the actual LCt_{50} is determined using the apparatus and animals in accordance with standard toxicological techniques.

Time-integrated chamber *concentrations* are determined for carbon oxides by infrared spectroscopy and, when appropriate, for hydrogen halides and hydrogen cyanide; the minimum oxygen *concentration* in the chamber is determined by a paramagnetic analyzer, and the mass loss of the test specimen is determined by a load cell.

The heat flux level of the test specimen exposure, the time to ignition of the test specimen and the extinction time for the flame are reported.

7.4.5 Repeatability and reproducibility

The NIST reports relatively good repeatability with this method, but no inter-laboratory evaluation of this method has been performed.

7.4.6 Relevance of test data and special observations

The NIST test, the results of which are expressed as LCt_{50} values, is designed to be used directly as input to fire hazard calculations. It eliminates many of the shortcomings of the NBS test, especially test specimen accommodation difficulties and localized oxygen depletion associated with the NBS cup furnace. Thermal decomposition occurs under well ventilated conditions and permits simulation of fire types 1b (if the test specimen does not auto-ignite), 2, 3a and 3b (see Table 1), depending upon the radiant flux level selected. It is a useful test for obtaining quantitative *toxic potency* data for materials and end products for input to fire hazard models.

Based on NIST research, it is claimed that post-flashover toxic potencies measured with this test agree with those from full-scale fires within approximately a factor of two [48].

This NIST test method is based on the principle that chemical analysis cannot always be relied upon to detect all the toxic components in fire effluent. As a result, efforts have been made to minimize the need for animals in measuring *toxic potency*, but the dependence on animals has not been completely eliminated.

This test is discussed in ISO 16312-2.

7.4.7 Reference documents

NFPA 269 [46], ASTM E 1678 [47], Hartzell [45], Alexeeff and Packham [49].

7.5 University of Pittsburgh, Upitt Box furnace

7.5.1 Summary

The UPitt box furnace [50] can be used for measuring the *toxic potency* of products resulting from the decomposition conditions of developing fires.

7.5.2 Purpose and principle

This test method is used for *concentration* response and *toxic potency* determinations utilizing a dynamic flow through system with a ramped heating of test specimens in a muffle furnace that is connected to four animal (mice) exposure chambers with sampling ports for effluent analysis.

This test method used to be required in the United States by the state of New York for certain construction, electrical and interior finishing materials and products.

7.5.3 Test specimen

The test specimens can be pieces of material or a test specimen cut from an end-product. Effluent *concentration* is varied by changing the mass charged to the furnace, typically in the range of 1 g to 10 g.

7.5.4 Test method

The test specimen is placed on a load cell and is decomposed in a furnace whose temperature is increased at $20\text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{min}^{-1}$ beginning at room temperature, and through which a stream of air is pulled at a rate of $11\text{ L} \times \text{min}^{-1}$. After the test specimen loses 1 % of its mass, the effluent from the furnace is diluted with more air and passed into the animal exposure chamber.

The fire effluent is passed into a 4 dm^3 glass animal exposure chamber. Analytical samples are taken from the exposure chamber.

Mice are exposed nose-only to the diluted effluent for 30 min. The 30 min animal exposure period begins when the test specimen weight loss begins. Animals which die during the test and within a 10 min post exposure period are counted in determining the dose response and the resulting *toxic potency*.

Continuous chamber oxygen *concentration* (paramagnetic analysis) and infrared determined carbon monoxide *concentration*, plus continuous analysis of other toxic combustion gases, such as hydrogen halides and hydrogen cyanide, as appropriate, can be conducted.

7.5.5 Repeatability and reproducibility

Multiple submittals of similar materials and products indicate that the repeatability of this test is very good.

7.5.6 Relevance of test data and special observations

The test method begins in a non-flaming oxidative mode, and at some stage transition to flaming usually occurs. At this stage, the CO_2/CO ratios tend to be low (under 20:1, usually less than 10:1), while the temperature is still low (less than 600 °C). This combination of conditions does not, therefore, fit well into the scheme of fire types shown in Table 1. It therefore does not produce usable input data for fire hazard models.

In common with many physical fire models, no indication is given about the rate of combustion, so flame retarded materials can be forced to undergo combustion at the same rate as materials without any flame retardance. Therefore, additional data input on combustion rates in different fire types is required for fire hazard assessments.

LC_{50} values have been reported and filed with New York State for over 15 000 products [51]. It is of interest that 96 % of the LC_{50} values range over less than one order of magnitude; 63,3 % of the LC_{50} values fall between 5 g to 12,5 g, with another 32,7 % being in the range of 12,5 g to 28,1 g.

This test is discussed in ISO 16312-2.

7.5.7 Reference documents

Levin, Paabo and Birky[44], Hartzell [45], Alarie and Anderson [50], New York State [51], Kaplan, Grand and Hartzell [52].

7.6 Japanese fire toxicity test for building components

7.6.1 Summary

Under the Japanese Building Standards Law, revised in 2000, fire safety evaluation and certification is done by fire test and evaluation organizations, which are recognized by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). Such recognized organizations establish methods and criteria for evaluation and certification. Many recognized organizations use this toxicity fire test [53][54], which uses a combustion system similar to BS 476-6 [55]. The combustion effluent of the test specimen is fed into a mixing chamber and then into an animal exposure chamber. The time required for all eight mice to become incapacitated is measured. The result is compared to a specified time.

NOTE For this test, *incapacitation* is defined as the cessation of movement of both the mouse and the cage for a minimum of 30 s.

7.6.2 Purpose and principle

This is a comparative toxicity test method for the designation of semi-combustible and flame retardant materials used in the construction industry, using mice under gas exposure conditions. The test apparatus consists of a furnace, a pre-mixing chamber and an animal exposure chamber with eight rotary cages.

7.6.3 Test specimen

The test specimen can be a piece of the material or a test specimen cut from an end-product measuring 22 cm × 22 cm × 1,5 cm maximum thickness. The area exposed for testing is 18 cm × 18 cm.

7.6.4 Test method

The animal exposure chamber temperature is set to 30 °C and each of the eight cages is loaded with mice. The test specimen is then heated initially by the supplementary heat source for 3 min followed by the addition of the main heat source for a further 3 min. The combustion gas is introduced into the animal exposure chamber at a rate of 10,0 L × min⁻¹. The monitoring time continues for a period of 15 min after the start of the heating test. The time required for each mouse to become incapacitated is recorded.

Test specimens are judged to have passed the test if the mean time to *incapacitation* exceeds a specified time.

7.6.5 Repeatability and reproducibility

In a four laboratory examination of six materials, the inter-laboratory standard deviation of the time to *incapacitation* of mice was under 15 %. The agreement of duplicate tests within each laboratory was within 5 %.

7.6.6 Relevance of test data and special observations

The test method is not widely used today, because many recognized organizations accept that for materials that contain less than established limits of combustible content, a fire toxicity test is not required. Many recognized organizations also accept that a fire toxicity test is not required for materials of low combustibility or for fire-retarded materials, because they consider that low heat release materials release low levels of toxic effluents.

The mass loss of the test specimen is not recorded during or after the test and, therefore, results cannot be expressed as *toxic potency*.

The test method is useful for screening the *incapacitation* potency of fire effluent from various products, but the test conditions only simulate fires of type 3a (see Table 1).

This method is discussed in ISO 16312-2.

8 Overview of methods and relevance of data

The methods outlined in Clauses 6 and 7 are summarised in Table 8 and Table 9 in terms of limitations of the test method, and applicability to the fire stages defined in Table 1.

Product committees intending to adopt or modify any of these test methods shall ensure that the method is appropriate and suitable for the intended use.

NOTE These methods are based on a wide variety of physical fire models and test specimen geometries, which can have a major effect on the chemical composition of the fire effluent.

Table 8 – Overview of toxicity test methods

Type of test method	Clause	Test method	Provides <i>toxic potency</i> data	Could be adapted to provide <i>toxic potency</i> data	Relevant to fire types in Table 1					
					1a	1b	1c	2	3a	3b
Chemical analysis	6.2	DS 02-713	No	No	No	No	No	No	No	No
	6.3	ABD 0031	No	No	No	No	No	No	No	No
	6.4	CEI 20-37/7	No	Yes	No	No	No	No	No	No
	6.5	NF C20-454 NF X70-100	No	Yes	No	No	No	a	No	No
	6.6.1	ISO/TS 19021	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes	No
	6.6.2	ISO/TS 19700	Yes	N/A	a	Yes	a	Yes	Yes	Yes
	6.7	IMO FTP Code	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes	No
	6.8	EN 50305 clause 9.2	No	Yes	No	No	No	a	No	No
	6.9	EN 17084	No	Yes	See 6.5 and 6.7					
Animal exposure	7.2	DIN 53436	Yes	N/A	No	Yes	No	No	Yes	Yes
	7.3	NBS Cup furnace	Yes	N/A	No	Yes	No	Yes	No	No
	7.4	NIST Radiant furnace	Yes	N/A	No	b	No	Yes	Yes	Yes
	7.5	UPitt Box furnace	Yes ^c	N/A	No	No	No	No	No	No
	7.6	Japanese test	Yes	N/A	No	No	No	No	Yes	No

^a It is possible to simulate this fire type, but not under the standard conditions of the test method.

^b This fire type will be simulated provided that the test specimen does not auto-ignite.

^c *Toxic potency* data can be calculated but the physical fire model does not correspond to any of the fire types of Table 1.

Table 9 – Overview of toxicity test methods (continued, with comments)

Type of test method	Clause	Test method	Comments
Chemical analysis	6.2	DS 02-713	This test method is now widely criticized. The data from this test should not be used as input to toxic hazard assessments, fire hazard assessments or fire safety engineering calculations.
	6.3	ABD 0031	Fire and ventilation conditions do not allow a comparison between this physical fire model and any of the fire types described in Table 1.
	6.4	CEI 20-37/7	The test temperature and ventilation conditions in these methods are such that the physical fire model does not correspond to any of the fire types described in Table 1. However, with modifications to either the test temperature or air flow rate, the physical fire model could be made to replicate fire types 2 or 3b.
	6.5	NF C20-454 NF X70-100	
	6.6.1	ISO/TS 19021	Whilst relatively easy to perform, this method is of questionable value for generating effluent toxicity data for use in fire hazard analysis.
	6.6.2	ISO/TS 19700	The method is technically complex. <i>Toxic potency</i> data can be obtained under conditions corresponding to fire types 1b, 2, 3a and 3b. Annexes in ISO/TS 19700 show how the data obtained can be used in accordance with ISO 13344 and ISO 13571.
	6.7	IMO FTP Code	Whilst relatively easy to perform, this method is of questionable value for generating effluent toxicity data for use in fire hazard analysis.
	6.8	EN 50305 clause 9.2	With modification to the test temperature the physical fire model could replicate fire type 2.
	6.9	EN 17084	Method 1 is similar to the IMO test and ISO/TS 19021. Method 2 is NF X70-100.
Animal exposure	7.2	DIN 53436	The method is useful for obtaining toxicological data and gas yields from the combustion or pyrolysis of homogeneous materials.
	7.3	NBS Cup furnace	The NBS test has now been largely superseded by the NIST test.
	7.4	NIST Radiant furnace	This is a useful test for obtaining quantitative <i>toxic potency</i> data for materials and end products for input to fire hazard models.
	7.5	UPitt Box furnace	This test does not produce usable input data for fire hazard models.
	7.6	JMC	The test method is useful for screening the <i>incapacitation</i> potency of fire effluent from various products, but the test conditions only simulate fires of type 3a.
^a It is possible to simulate this fire type, but not under the standard conditions of the test method. ^b This fire type will be simulated provided that the test specimen does not auto-ignite. ^c <i>Toxic potency</i> data can be calculated but the physical fire model does not correspond to any of the fire types of Table 1.			

Bibliography

- [1] IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing - Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - Fire hazard assessment*
- [2] IEC 60695-1-12, *Fire hazard testing - Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - Fire safety engineering*
- [3] IEC 60695-4, *Fire hazard testing - Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*
- [4] ISO 16312-1, *Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment – Part 1: Criteria*
- [5] ISO 19703, *Generation and analysis of toxic gases in fire – Calculation of species yields, equivalence ratios and combustion efficiency in experimental fires*
- [6] Le Tallec, Y. and Guillaume E., “Fire Gases and their chemical measurement” in ‘Hazards of Combustion Products’, Interscience Communications Ltd., London (2008)
- [7] ISO 19701, *Methods for sampling and analysis of fire effluents*
- [8] ISO 19702, *Toxicity testing of fire effluents – Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR gas analysis*
- [9] Ministry of Defence – Defence Standard 02-713 (NES 713) Issue 1, *Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials.*
- [10] Ministry of Defence – Defence Standard 07-247, Revision I2, June 28, 2018, *Selection of materials on the basis of their fire characteristics.*
- [11] Guillaume, E. and Chivas, C., “Fire models used in toxicity testing” in ‘Hazards of Combustion Products’, Interscience Communications Ltd., London (2008)
- [12] ABD 00031, *Airbus Directives (ABD) and procedures – Fire – Smoke – Toxicity*
- [13] ASTM E-662, *Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials*
- [14] AITM 2.0007, *Airbus Industry Test Methods – Determinations of the specific optical smoke density of aircraft interior materials (JAR/FAR Part 25, Appendix F-Part V)*
- [15] AITM 2.0008, *Airbus Industry Test Methods – Determinations of the specific optical smoke density of electrical wire/cable insulation*
- [16] AITM 3.0005, *Airbus Industry Test Methods – Determination of specific gas components of smoke generated by aircraft interior materials*
- [17] CEI 20-37/7, *Tests on gases evolved during combustion of electric cables and their compounds – Part 7: Determination of toxicity index of gases evolved during combustion of electric cables*
- [18] NATO AFAP-3, *NATO Reaction to fire tests for materials toxicity of fire effluents – Ed 2, 2005*

- [19] NF C20-454, *Basic environmental testing procedures. Test methods. Fire behaviour. Analysis and titrations of gases evolved during pyrolysis or combustion of materials used in electrotechnics. Exposure to abnormal heat or fire. Tube furnace method.*
- [20] NF X70-100-1: 2006, *Fire tests – Analysis of gaseous effluents – Part 1: methods for analysing gases stemming from thermal degradation*
- [21] NF X70-100-2: 2006, *Fire tests – Analysis of gaseous effluents – Part 2: tubular furnace thermal degradation method*
- [22] Fire Standardisation Research in Railways (FIRESTARR), Final Report, European Standards, Measurement and Testing Programme, Contract SMT4-CT97-2164, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, 2001.
- [23] EN 45545-2, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*
- [24] ISO/TS 19021:2018, *Test method for determination of gas concentrations in ISO 5659-2 using Fourier transform infrared spectroscopy*
- [25] ISO 5659-2, *Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test*
- [26] EN 17084, *Railway applications. Fire protection on railway vehicles. Toxicity test of materials and components*
- [27] IEC 60695-6-2, *Fire hazard testing – Part 6-2: Smoke obscuration – Summary and relevance of test methods*
- [28] ISO/TS 19700, *Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents – Steady-state tube furnace*
- [29] BS 7990, *Tube furnace method for the determination of toxic product yields in fire effluents*
- [30] ISO 9705-1, *Reaction to fire tests – Room corner test for wall and ceiling lining products – Part 1: Test method for a small room configuration*
- [31] IMO FTP Code, *International Code for Application of Fire Test Procedures (FTP Code)* adopted by IMO as resolution MSC.307(88) in 2010
- [32] EN 50305, *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Test methods. (Clause 9.2, Toxicity. Annex E, Analysis methods for toxicity).*
- [33] EN 50306-1, *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Thin wall – Part 1: General requirements*
- [34] EN 70754-1, *Tests on gases evolved during combustion of materials from cables – Determination of the halogen acid gas content*
- [35] Transport Fire Safety Engineering in the European Union (TRANSFEU) – 7th RTD Framework Programme (Contract Number: 233786), Duration April 2009 to October 2012.

- [36] Small scale test for dynamic measurement of smoke and toxic gases produced in a cumulative system – (ISO 5659-2 Smoke Chamber). TRANSFEU, WP 2, Fire test for toxicity of fire effluents, Task 2.1 Deliverable 1.31.
- [37] Report on the development of the protocol for a dynamic small scale test method for the measurement of toxic gases – Vers. 13 May 2010. TRANSFEU, WP 2, Fire test for toxicity of fire effluents, Task 2.1 Deliverable 1.21.
- [38] DIN 53436-1, *Producing thermal decomposition products from materials in an air stream and their toxicological testing; decomposition apparatus and determination of test temperature* (1981)
- [39] DIN 53436-2, *Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung; Verfahren zur thermischen Zersetzung* (1986)
- [40] DIN 53436-3: *Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung; Verfahren zu inhalationstoxikologischen Untersuchung* (1989)
- [41] Klimisch, H. J., Hollander, H. W. and Thyssen, *Comparative measurements of the toxicity to laboratory animals of products of thermal decomposition generated by the method of DIN 53436*, J., J. Comb. Tox. 7, 1980, pp. 209 – 230
- [42] Klimisch, H. J., Hollander, H. W. and Thyssen, *Generation of constant concentrations of thermal decomposition products in inhalation chambers. A comparative study with a method according to DIN 53436. I. Measurement of carbon monoxide and carbon dioxide in inhalation chambers*, J., J. Comb. Tox. 7, 1980, pp. 243 – 256
- [43] Levin, B.C. et al., *Further Development of a Test Method for the Assessment of the Acute Inhalation Toxicity of Combustion Products*, NBSIR 82-2532. Washington: US National Bureau of Standards (1982)
- [44] Levin, B.C., Paabo, M. et Birky, M.M., *An Interlaboratory Evaluation of the National Bureau of Standards Test Method for Assessing the Acute Inhalation Toxicity of Combustion Products*, NBSIR 83-2678. Gaithersburg: US National Bureau of Standards (1983)
- [45] Hartzell, G.E., *Overview of combustion toxicology*. Toxicology, 115, p.7-23, published by Elsevier Science Ireland for the National Fire Protections Association (NFPA) (1996)
- [46] NFPA 269, *Standard Test Method for Developing Toxic Potency Data for Use in Fire Hazard Modelling*, NFPA International, Quincy, MA, USA
- [47] ASTM E 1678, *Standard Test Method for Measuring Smoke Toxicity for Use in Fire Hazard Analysis*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- [48] Babrauskas, V., Harris Jr., R. H., Braun, E., Levin, B. C., Paabo, M. and Gann, R. G., *The Role of Bench-Scale Test Data in Assessing Real-Scale Fire Toxicity*, NIST Technical Note 1284, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, 1991
- [49] Alexeeff, G. V. et Packham, S. C., *Evaluation of Smoke Toxicity Using Concentration-Time Products*. J. Fire Sci. 2(5): pp. 362-379 (1984)
- [50] Alarie, Y. C. and Anderson, R. C., *Toxicologic and acute lethal hazard evaluation of thermal decomposition products of synthetic and natural polymers*, Toxicology and Applied Pharmacology, 51, 1979, pp. 341 – 361

- [51] New York State Uniform Fire Prevention et Building Code, Article 15, Part 1120, *Combustion Toxicity Testing and Regulations for Implementing Building Materials and Finishes*; Fire Gas Toxicity Data File. New York State, Department of State, Office of Fire Prevention et Control, Albany, NY 12231 (1986)
- [52] Kaplan, H.L., Grand, A.F., Hartzell, G.E., *Combustion toxicology – Principles and test methods*. Technomic Publishing Co., Box 5535, Lancaster Pennsylvania 17604, USA (1983)
- [53] Tsuchiya, Y., *New Japanese standard test for combustion gas toxicity*, Journal of Combustion Toxicity 4, pp. 5-7 (1977)
- [54] Saito, F., *Toxicity test for fire resistive materials in Japan*, Journal of Combustion Toxicology, 9, 1982, pp. 194 – 205
- [55] BS 476-6, *Fire tests on building materials and structures – Part 6: Method of test for fire propagation for products* (1989)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-7-2:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-7-2:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
INTRODUCTION	51
1 Domaine d'application	52
2 Références normatives	52
3 Termes et définitions	53
4 Rôle des essais de toxicité à échelle réduite	57
4.1 Généralités	57
4.2 <i>Potentiel toxique</i>	57
4.3 Danger toxique, <i>dose d'exposition et dose effective fractionnelle (FED)</i>	58
4.4 <i>Concentration effective fractionnaire (FEC)</i>	59
4.5 Potentiels toxiques génériques	59
5 Aspects généraux des essais de toxicité à petite échelle	59
5.1 Généralités	59
5.2 Modèles physiques du feu	59
5.3 Étapes d'un incendie dans un local	60
5.4 Méthodes d'analyse	61
5.4.1 Généralités	61
5.4.2 Méthodes fondées sur des analyses chimiques	63
5.4.3 Méthodes fondées sur l'exposition d'animaux	63
6 Résumé de méthodes d'essai fondées sur des analyses chimiques publiées	63
6.1 Généralités	63
6.2 Ministère de la Défense du Royaume-Uni – DEF STAN 02-713	64
6.2.1 Résumé	64
6.2.2 But et principe	64
6.2.3 Éprouvette d'essai	64
6.2.4 Méthode d'essai	64
6.2.5 Répétabilité et reproductibilité	65
6.2.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales	65
6.3 Airbus industrie	66
6.3.1 Résumé	66
6.3.2 But et principe	66
6.3.3 Éprouvette d'essai	66
6.3.4 Méthode d'essai	66
6.3.5 Répétabilité et reproductibilité	67
6.3.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales	67
6.4 Comité Électrotechnique Italien (CEI)	67
6.4.1 Résumé	67
6.4.2 But et principe	67
6.4.3 Éprouvette d'essai	67
6.4.4 Méthode d'essai	67
6.4.5 Répétabilité et reproductibilité	68
6.4.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales	68
6.5 Norme Française (NF)	68
6.5.1 Résumé	68
6.5.2 But et principe	68
6.5.3 Éprouvette d'essai	68

6.5.4	Méthode d'essai	69
6.5.5	Répétabilité et reproductibilité	69
6.5.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	69
6.6	Méthodes d'essai de l'ISO.....	69
6.6.1	ISO/TS 19021	69
6.6.2	ISO/TS 19700.....	70
6.7	Organisme Maritime International (OMI).....	72
6.7.1	Résumé	72
6.7.2	But et principe	72
6.7.3	Éprouvette d'essai	72
6.7.4	Méthode d'essai	72
6.7.5	Répétabilité et reproductibilité	73
6.7.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	73
6.8	Essai de toxicité pour les câbles des matériels roulants	73
6.8.1	Résumé	73
6.8.2	But et principe	74
6.8.3	Éprouvette d'essai	74
6.8.4	Méthode d'essai	74
6.8.5	Répétabilité et reproductibilité	75
6.8.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	75
6.9	Essai de toxicité des matériaux et des composants (autres que des câbles) des applications ferroviaires	75
6.9.1	Résumé	75
6.9.2	But et principe	75
6.9.3	Éprouvette d'essai	76
6.9.4	Méthode d'essai	76
6.9.5	Répétabilité et reproductibilité	76
6.9.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	76
7	Résumé des méthodes d'essai publiées fondées sur l'exposition d'animaux	76
7.1	Généralités	76
7.2	Deutsches Institut für Normung, DIN 53436	77
7.2.1	Résumé	77
7.2.2	But et principe	77
7.2.3	Éprouvette d'essai	77
7.2.4	Méthode d'essai	77
7.2.5	Répétabilité et reproductibilité	77
7.2.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	77
7.3	Bureau national des normes (NBS)	78
7.3.1	Résumé	78
7.3.2	But et principe	78
7.3.3	Éprouvette d'essai	78
7.3.4	Méthode d'essai	78
7.3.5	Répétabilité et reproductibilité	79
7.3.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	79
7.3.7	Documents de référence	79
7.4	National Institute of Standards and Technology, four radiant NIST	80
7.4.1	Résumé	80
7.4.2	But et principe	80
7.4.3	Éprouvette d'essai	80

7.4.4	Méthode d'essai	80
7.4.5	Répétabilité et reproductibilité	81
7.4.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	81
7.4.7	Documents de référence	81
7.5	Université de Pittsburgh, four à moufle Upitt	81
7.5.1	Résumé	81
7.5.2	But et principe	82
7.5.3	Éprouvette d'essai	82
7.5.4	Méthode d'essai	82
7.5.5	Répétabilité et reproductibilité	82
7.5.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	82
7.5.7	Documents de référence	83
7.6	Essai de toxicité au feu pour les composants des bâtiments au Japon	83
7.6.1	Résumé	83
7.6.2	But et principe	83
7.6.3	Éprouvette d'essai	83
7.6.4	Méthode d'essai	83
7.6.5	Répétabilité et reproductibilité	84
7.6.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	84
8	Vue d'ensemble des méthodes et de la pertinence des données	84
	Bibliographie	87
	Figure 1 – Différentes phases du développement d'un feu à l'intérieur d'un local	61
	Tableau 1 – Caractéristiques des types de feu (tiré de l'ISO 19706)	62
	Tableau 2 – Valeurs de C_f pour différents gaz	65
	Tableau 3 – Limites de <i>fraction volumique</i> pour composants de gaz	67
	Tableau 4 – Conditions de décomposition	71
	Tableau 5 – Limites de <i>fraction volumique</i> pour composants de gaz	73
	Tableau 6 – Valeurs CC_z extraites de l'EN 50305	74
	Tableau 7 – Concentrations de référence des composants de gaz	76
	Tableau 8 – Vue d'ensemble des méthodes d'essai de toxicité	85
	Pertinent par rapport aux types de feu du Tableau 1	85
	Tableau 9 – Vue d'ensemble des méthodes d'essai de toxicité (suivie d'observations)	86

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

**Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu –
Résumé et pertinence des méthodes d'essai**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60695-7-2 a été établie par le comité d'études 89 de l'IEC: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2011. Cette édition constitue une révision technique.

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

- Nouveau texte d'introduction;
- Nouveau texte de domaine d'application;
- L'Article 2 a été mis à jour;
- De nombreux termes et définitions de l'Article 3 issus de l'ISO 13943 ont été supprimés. D'autres termes et définitions ont été ajoutés.

- Nouveau texte en 4.3 et 4.4;
- Nouveau texte en 6.1;
- Les références à l'IEC 60695-7-50 et -51 (à présent supprimées) ont été retirées;
- Une référence à la DEF STAN 07-247 a été ajoutée;
- Des éléments détaillés tirés de l'ISO/TS 19021 ont été ajoutés;
- Des éléments détaillés tirés de l'EN 17084 ont été ajoutés;
- Nouveau texte ajouté relatif à l'ISO/TS 19700;
- Nouveau texte relatif à l'essai de toxicité de l'OMI FTP;
- Nouveau paragraphe 7.1;
- L'Annexe de la première édition est devenue le nouvel Article 8;
- La bibliographie a été mise à jour.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
89/1489/CDV	89/1508/RVC

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

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

L'IEC 60695-7 est composée des parties suivantes:

Partie 7-1: Toxicité des effluents du feu – Lignes directrices générales

Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai

Partie 7-3: Toxicité des effluents du feu – Utilisation et interprétation des résultats d'essai

Pour le présent document, les caractères suivants sont utilisés:

- Les termes *en italiques* dans le texte sont définis à l'Article 3.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

Lors de la conception d'un produit électrotechnique, il est nécessaire de tenir compte du risque d'incendie et des dangers potentiels liés au feu. De ce fait, l'objectif de la conception du composant, du circuit et des équipements, ainsi que l'objectif du choix des matériaux, consistent à réduire le risque d'incendie à un niveau tolérable, même en cas de mauvais usage raisonnablement prévisible, de dysfonctionnement ou de défaillance.

L'IEC 60695-1-10, l'IEC 60695-1-11 [1]¹ et l'IEC 60695-1-12 [2] fournissent des recommandations relatives aux exigences correspondantes.

Les incendies impliquant des produits électrotechniques peuvent également être provoqués par des sources externes non électriques. Ces problèmes sont traités lors d'une évaluation globale du danger d'incendie.

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

- de tenter d'empêcher l'allumage provoqué par un composant mis sous tension et, en cas d'allumage, de circonscrire l'incendie à l'intérieur des limites de l'enveloppe du produit électrotechnique;
- de tenter de réduire le plus possible la propagation de flamme au-delà de l'enveloppe du produit et les effets nocifs des effluents du feu, y compris la chaleur, la fumée et les produits de combustion toxiques ou corrosifs.

Les produits électrotechniques, principalement en tant qu'objets d'un feu, peuvent contribuer aux dangers d'incendie par suite de dégagements d'effluents toxiques, qui peuvent constituer un facteur significatif de contribution au danger général d'incendie.

La série IEC 60695-7 fournit des recommandations aux comités de produits IEC sur l'adoption et la mise en application des recommandations de l'ISO, en vue de la réduction des dangers toxiques dus aux feux, impliquant des produits électrotechniques. La présente partie de l'IEC 60695-7 spécifie les méthodes d'essai de la toxicité des effluents du feu d'un usage courant afin d'évaluer les produits ou matériaux électrotechniques utilisés dans les produits électrotechniques.

Il convient que les comités de produits IEC incorporant des exigences pour l'évaluation des dangers toxiques dus aux feux dans les normes de produits, notent ce qui suit: il convient de ne pas utiliser directement dans les spécifications de produits le *potentiel toxique* et les autres mesurages de toxicité décrits dans la présente norme internationale. Il convient que les données provenant de méthodes d'essai de *potentiel toxique* ne soient utilisées qu'en tant que partie d'une évaluation des dangers toxiques, en conjonction avec d'autres données de réaction au feu fondées sur le produit, telles que le taux de perte de masse.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60695-7 fournit un bref résumé des méthodes d'essai qui sont d'un usage courant dans l'évaluation de la toxicité des effluents du feu. Elle comprend des observations particulières sur leur pertinence par rapport aux scénarios d'incendies réels, et donne des recommandations sur leur utilisation.

Elle indique quels sont les essais fournissant des données de *potentiel toxique* pertinentes pour les scénarios d'incendies réels, et quels sont ceux qui sont adaptés à l'utilisation dans l'évaluation des dangers d'incendie et l'ingénierie de sécurité incendie.

La liste des méthodes d'essai ne doit pas être considérée comme exhaustive.

Ce résumé ne peut pas remplacer les normes publiées, qui sont les seuls documents de référence valables.

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 l'IEC et dans le Guide ISO/IEC 51.

L'une des responsabilités d'un comité d'études consiste, le cas échéant, à utiliser les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses publications. Les exigences, les méthodes ou les conditions d'essai de la présente publication fondamentale de sécurité s'appliquent seulement si elles servent spécifiquement de référence ou sont intégrées dans les publications correspondantes.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60695-7-1, *Essais relatifs aux risques du feu - Partie 7-1: Toxicité des effluents du feu - Lignes directrices générales*

IEC 60695-7-3, *Essais relatifs aux risques du feu - Partie 7-3: Toxicité des effluents du feu - Utilisation et interprétation des résultats d'essai*

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

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

ISO 13943:2017, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

ISO 13344, *Détermination du pouvoir toxique létal des effluents du feu*

ISO 13571:2007, *Composants dangereux du feu – Lignes directrices pour l'estimation du temps disponible pour l'évacuation, utilisant les caractéristiques du feu*

ISO/TR 16312-2, *Lignes directrices pour évaluer la validité des modèles de feu physiques pour l'obtention de données sur les effluents du feu en vue de l'évaluation des risques et dangers – Partie 2: Évaluation des différents modèles de feu physiques*

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

ISO 29903:2012, *Directives pour la comparaison de données de gaz toxiques entre divers modèles et échelles de feu physiques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 13943:2017 s'appliquent. Certains sont reproduits ci-dessous pour le confort des utilisateurs.

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

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

3.1

toxicité aiguë

toxicité qui engendre des effets toxiques se produisant rapidement

Note 1 à l'article: À comparer avec le terme *potentiel toxique* (3.16)

[ISO 13943:2017, définition 3.8]

3.2

asphyxiant

toxique (3.17) induisant une hypoxie, pouvant entraîner une dépression du système nerveux central ou des effets cardiovasculaires

Note 1 à l'article: Une perte de conscience et, finalement, la mort peuvent survenir.

[ISO 13943:2017, définition 3.23]

3.3

concentration

masse d'une matière dispersée ou dissoute dans un volume donné

Note 1 à l'article: Pour les effluents du feu, elle est exprimée en $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Note 2 à l'article: Pour un gaz toxique, la concentration s'exprime généralement en *fraction volumique* (3.18) à $T = 298 \text{ K}$ et $P = 1 \text{ atm}$, et elle est exprimée en $\mu\text{L/L}$ (ce qui équivaut à $\text{cm}^3/\text{m}^3 = 10^{-6}$).

Note 3 à l'article: La concentration d'un gaz à la température T et à la pression P peut être calculée à partir de sa fraction volumique (si le gaz peut être assimilé à un gaz parfait) en multipliant la fraction volumique par la masse volumique du gaz dans les mêmes conditions de température et de pression.

Note 4 à l'article: Le pascal (Pa) est l'unité SI pour la pression; toutefois, l'atmosphère (atm) est généralement utilisée dans ce contexte, où $1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$.

[ISO 13943:2017, définition 3.62]

3.4 concentration effective 50

*EC*₅₀

concentration (3.3) d'un gaz toxique ou d'effluents du feu, calculée statistiquement à partir des données concentration-effet, qui produit un effet spécifié sur 50 % d'une population d'une espèce donnée au cours d'une durée d'exposition et d'un temps de post-exposition spécifiés

Note 1 à l'article: À comparer avec terme *IC*₅₀ (ISO 13943:2017, 3.211).

Note 2 à l'article: Pour les effluents du feu, elle est exprimée en g·m⁻³.

Note 3 à l'article: Pour un gaz toxique, elle est exprimée en µL/L (à *T* = 298 K et *P* = 1 atm); voir *fraction volumique* (3.18).

Note 4 à l'article: L'effet observé est généralement une réponse comportementale indicative d'une *incapacitation* (3.8) ou de la mort. La *EC*₅₀ pour l'incapacitation est appelée *IC*₅₀. La valeur *EC*₅₀ pour la létalité est appelée *LC*₅₀ (3.11).

3.5 dose d'exposition

mesure de la quantité maximale de gaz toxique ou d'effluents du feu qui est disponible pour l'inhalation, calculée par l'intégration de la surface sous la courbe *concentration*-temps

Note 1 à l'article: Pour les effluents du feu, elle est exprimée en g·min·m⁻³.

Note 2 à l'article: Pour un gaz toxique, elle est exprimée en µL·min·L⁻¹ (à *T* = 298 K et *P* = 1 atm); voir *fraction volumique* (3.18).

[ISO 13943:2017, définition 3.107]

3.6 concentration effective fractionnelle

FEC

rapport de la *concentration* (3.3) d'un *irritant* (3.9) à la concentration susceptible de produire un effet déterminé sur un sujet exposé de sensibilité moyenne

Note 1 à l'article: À comparer avec le terme *facteur F* (ISO 13943:2017, 3.112).

Note 2 à l'article: Le concept de *FEC* peut se référer à tous les effets, y compris l'*incapacitation* (3.8), la létalité ou autres effets résultants.

Note 3 à l'article: Lorsqu'il n'est pas utilisé en référence à un irritant spécifique, le terme "*FEC*" représente le cumul des valeurs de *FEC* pour tous les irritants dans l'atmosphère générée par le feu.

Note 4 à l'article: La *FEC* est une grandeur sans dimension.

Note 5 à l'article: L'abréviation "*FEC*" est dérivée du terme anglais développé correspondant "fractional effective concentration".

[ISO 13943:2017, définition 3.187]

3.7 dose effective fractionnelle

FED

rapport de la *dose d'exposition* (3.5) à un *asphyxiant* (3.2) à la dose d'exposition susceptible de produire un effet déterminé sur un sujet exposé de sensibilité moyenne

Note 1 à l'article: Le concept de *FED* peut se référer à tous les effets, y compris l'*incapacitation* (3.8), la létalité ou autres effets résultants.

Note 2 à l'article: Lorsqu'il n'est pas utilisé en référence à un asphyxiant spécifique, le terme "*FED*" représente le cumul des valeurs *FED* pour tous les asphyxiants émis dans l'atmosphère de combustion.

Note 3 à l'article: La *FED* est une grandeur sans dimension.

Note 4 à l'article: L'abréviation "FED" est dérivée du terme anglais développé correspondant "fractional effective dose".

[ISO 13943:2017, définition 3.188]

3.8

incapacitation

état d'incapacité physique d'accomplir une tâche spécifique

Note 1 à l'article: Un exemple de tâche spécifique consiste à réaliser une évacuation lors d'un incendie.

[ISO 13943:2017, définition 3.225]

3.9

irritant, substantif

<sensoriel/voies respiratoires supérieures> gaz ou aérosol qui stimule les récepteurs du système nerveux des yeux, du nez, de la bouche, de la gorge et de l'appareil respiratoire, provoquant à des degrés variables une gêne et des douleurs conduisant au déclenchement de nombreuses réactions de défense physiologique

Note 1 à l'article: Les réactions de défense physiologique incluent le réflexe de fermeture des paupières, la production de larmes, la toux, et la bronchoconstriction.

[ISO 13943:2017, définition 3.237]

3.10

irritant, substantif

<système pulmonaire> gaz ou aérosol qui stimule les récepteurs du système nerveux de l'appareil respiratoire inférieur, ce qui peut provoquer une gêne respiratoire

Note 1 à l'article: Les exemples de gêne respiratoire sont la dyspnée et l'accroissement du rythme respiratoire. Dans les cas graves, une pneumonie ou un œdème pulmonaire peuvent survenir quelques heures après l'exposition et être fatals.

[ISO 13943:2017, définition 3.238]

3.11

concentration létale 50

LC_{50}

concentration (3.3) d'un gaz toxique ou d'effluents du feu, calculée statistiquement à partir des données concentration-effet, qui produit la mort de 50 % d'une population d'une espèce donnée au cours d'une durée d'exposition et d'un temps de post-exposition spécifiés

Note 1 à l'article: À comparer avec le terme *concentration effective 50* (3.4).

Note 2 à l'article: Pour les effluents du feu, elle est exprimée en $g \cdot m^{-3}$.

Note 3 à l'article: Pour un gaz toxique, elle est exprimée en $\mu L/L$ (à $T = 25\text{ °C}$ et $P = 1\text{ atm}$; voir *fraction volumique* (3.18)).

[ISO 13943:2017, définition 3.241]

3.12

dose létale d'exposition 50

LCt_{50}

produit de la LC_{50} (3.11) et de la durée d'exposition sur laquelle elle a été déterminée

Note 1 à l'article: À comparer avec les termes *concentration* (3.3), *dose effective d'exposition* (ISO 13943:2017, 3.87), *dose d'exposition* (3.5) et *durée létale d'exposition 50* (ISO 13943:2017, 3.243).

Note 2 à l'article: LCt_{50} est une mesure du *potentiel toxique létal* (3.13).

Note 3 à l'article: Pour les effluents du feu, elle est exprimée en $\text{g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$.

Note 4 à l'article: Pour un gaz toxique, elle est exprimée en $\mu\text{L}\cdot\text{min}\cdot\text{L}^{-1}$ (à $T = 25\text{ °C}$ et $P = 1\text{ atm}$); voir *fraction volumique* (3.18).

[ISO 13943:2017, définition 3.242]

3.13

potentiel toxique létal

potentiel toxique (3.16) pour lequel l'effet toxique spécifique est la mort

Note 1 à l'article: À comparer avec les termes *concentration létale 50* (LC_{50}) (3.11) et *dose létale d'exposition 50* (LCt_{50}) (3.12).

[ISO 13943:2017, définition 3.244]

3.14

taux de perte de masse

⟨système fermé⟩ masse de l'éprouvette d'essai consommée au cours de la combustion divisée par le volume de la chambre d'essai

Note 1 à l'article: Il est exprimé en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

[ISO 13943:2017, définition 3.262]

3.15

taux de perte de masse

⟨système ouvert⟩ masse de l'éprouvette d'essai consommée au cours de la combustion divisée par le volume total de l'air ayant circulé à travers l'appareillage d'essai

Note 1 à l'article: La définition suppose que la masse est répartie uniformément dans le flux d'air au fil du temps.

Note 2 à l'article: Il est exprimé en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

[ISO 13943:2017, définition 3.263]

3.16

potentiel toxique

mesure de la quantité de *toxique* (3.17) exigée pour obtenir un effet toxique spécifique

Note 1 à l'article: À comparer avec les termes *dose effective d'exposition 50* (ISO 13943:2017, 3.87) et *dose létale d'exposition 50* (3.12).

Note 2 à l'article: Une petite valeur de potentiel toxique correspond à une valeur élevée de toxicité, et inversement.

[ISO 13943:2017, définition 3.402]

3.17

toxique, substantif

toxine

substance toxique

[ISO 13943:2017, définition 3.404]

3.18

fraction volumique

⟨gaz dans un mélange gazeux⟩ rapport du volume que le gaz seul occuperait dans des conditions définies de température et de pression, et du volume occupé par le mélange gazeux dans les mêmes conditions de température et de pression

Note 1 à l'article: La *concentration* (3.3) d'un gaz à la température T et à la pression P peut être calculée à partir de sa fraction volumique (si le gaz peut être assimilé à un gaz parfait) en multipliant la fraction volumique par la masse volumique du gaz dans les mêmes conditions de température et de pression.

Note 2 à l'article: Sauf indication contraire, il est supposé une température égale à 298 K et une pression à 1 atm.

Note 3 à l'article: La fraction volumique est une grandeur sans dimension, qui est généralement exprimée en $\mu\text{L/L}$ ($= \text{cm}^3/\text{m}^3 = 10^{-6}$), ou en pourcentage.

[ISO 13943:2017, définition 3.421]

3.19

rendement volumique

volume, à 298 K et 1 atm, d'un composant d'effluents du feu divisé par la perte de masse de l'éprouvette d'essai associée à la production de ce volume

Note 1 à l'article: Il est exprimé en $\text{m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$.

[ISO 13943:2017, définition 3.422]

4 Rôle des essais de toxicité à échelle réduite

4.1 Généralités

Les essais de toxicité à petite échelle et les essais de mesure de *potentiel toxique* en particulier, servent un objectif très spécifique – produire des données à utiliser pour évaluer les dangers toxiques et les dangers d'incendie, ou pour les calculs d'ingénierie de sécurité incendie.

Ces essais sont souvent mal interprétés comme fournissant des résultats qui constituent une indication directe de la toxicité ou du danger toxique lié au matériau ou au produit. De telles interprétations ne sont pas valables et sont contraires aux recommandations données dans l'ISO 19706 et dans l'IEC 60695-7-1, et risquent de mener à des suppositions incorrectes sur la contribution d'un matériau ou d'un produit donné au danger toxique.

Par conséquent, il convient de ne pas utiliser directement les résultats issus des essais de toxicité à petite échelle dans des spécifications de produits ou pour suggérer tout niveau de danger lorsqu'ils sont pris de façon isolée.

Il convient de n'utiliser les données provenant de méthodes d'essai de *potentiel toxique* qu'en tant que partie d'une évaluation des dangers toxiques, en conjonction avec d'autres données de réaction au feu fondées sur le produit, telles que le taux de perte de masse.

Des recommandations relatives à la comparaison des données de gaz toxiques entre divers modèles et échelles de feu physiques sont données dans l'ISO 29903:2012.

4.2 Potentiel toxique

Le terme de *potentiel toxique* est un terme technique spécifique de la science du feu. Il s'agit de la mesure de la quantité de produits *toxiques* exigée pour révéler un effet toxique spécifique. Un *potentiel toxique* spécifique communément utilisé est la *dose d'exposition* qui provoque la mort de 50 % des organismes exposés. Il est appelé LC_{t50} (*dose d'exposition létale 50*).

La *dose d'exposition* du $i^{\text{ème}}$ composant toxique, $[D]_i$, dans un mélange de composants toxiques, est définie par l'équation suivante:

$$[D]_i = \int C_i dt = X_i \frac{1}{V} \int m dt = X_i D_m$$

ou, si la *fraction volumique* du $i^{\text{ème}}$ composant toxique est constante dans le temps,

$$[D]_i = C_i \times t$$

où

C_i est la *fraction volumique* du $i^{\text{ème}}$ composant toxique;

X_i est le *rendement volumique* du $i^{\text{ème}}$ composant toxique provenant d'un essai de *potentiel toxique*;

D_m est l'intégrale du taux de perte de masse, qui est l'intégrale de la masse perdue pendant le temps d'exposition, t , divisée par le volume de l'effluent du feu;

m est la masse de l'éprouvette d'essai perdue pendant le temps d'exposition;

t est le temps d'exposition, et

V est le volume dans lequel est dispersé l'effluent du feu.

Dans les deux cas, la *dose d'exposition* a des unités de *fraction volumique* × temps, par exemple min.

Dans certains cas, m/V , désigné *taux de perte de masse*, est utilisé au lieu de la *fraction volumique*, auquel cas la *dose d'exposition* a des unités de *concentration* × temps, par exemple, g·min·m⁻³.

Si par hypothèse une exposition de 30 min à un taux de perte de masse de 20 g·m⁻³ cause l'effet défini, alors le *potentiel toxique* du matériau est de 600 g·min·m⁻³. Ceci signifie que, par exemple, une exposition de 10 min à un *taux de perte de masse* de 60 g·m⁻³ est réputée causer l'effet défini. De la même façon, une exposition de 20 min à un *taux de perte de masse* de 30 g·m⁻³ est également réputée causer le même effet défini.

Le *potentiel toxique* de l'effluent du feu d'un matériau donné varie en fonction du modèle physique de feu utilisé pour engendrer l'effluent du feu. En particulier, les conditions de température et de ventilation sont des variables critiques. Cette question est examinée plus en détail en 5.1.

4.3 Danger toxique, dose d'exposition et dose effective fractionnelle (FED)

Le *potentiel toxique* est seulement l'un des facteurs qui déterminent le danger toxique encouru dans tout scénario d'incendie donné, dans le sens où il définit l'effet toxique causé par l'effluent du feu, exprimé par unité de perte de masse. Pour estimer le danger toxique encouru par un produit particulier dans un scénario donné, il est également important d'avoir les données qui définissent la quantité d'effluents du feu dégagée, en fonction du temps (la caractéristique de perte de masse du produit), et de connaître le volume dans lequel est dispersé cet effluent du feu.

Pour un volume de dispersion donné, le danger toxique est proportionnel au produit du *potentiel toxique* et de la caractéristique de vitesse de perte de masse du produit en question. C'est pourquoi un matériau à *potentiel toxique* élevé et vitesse de perte de masse du produit final faible, peut causer un danger toxique similaire au matériau à *potentiel toxique* faible et vitesse de perte de masse du produit final élevée.

La *dose d'exposition* tient compte de la concentration d'un *toxique* et de la durée d'exposition, et la *dose effective fractionnelle (FED)* est la fraction de la dose prévue pour produire un effet spécifié. À l'origine, le concept de *FED* était limité aux asphyxiants. Il s'applique désormais aux *irritants* - voir 4.4.

4.4 Concentration effective fractionnaire (FEC)

Jusqu'à récemment, pour des *irritants* des voies respiratoires supérieures, le principe de base pour évaluer le danger toxique impliquait seulement la *concentration* de chaque *irritant*. Des *concentrations effectives fractionnaires* (FEC) sont déterminées pour chaque irritant à chaque incrément discret de temps. Le temps auquel leur somme excédait une valeur seuil indiquée représentait le temps disponible pour l'évasion quant aux critères choisis de sécurité.

Cette approche a cependant été abandonnée par l'ISO au profit des calculs fondés sur le concept de *FED* (voir l'ISO 13571).

4.5 Potentiels toxiques génériques

Il importe de se rendre compte que l'exécution d'une évaluation de danger toxique ne nécessite pas toujours de posséder des données de *potentiel toxique* sur les matériaux en question. De vastes travaux au sein de l'ISO et des travaux publiés par ailleurs ont démontré que la plupart des matériaux produisent des atmosphères d'incendie de *potentiel toxique* similaire.

C'est pourquoi, pour les besoins d'une évaluation de danger toxique initiale de tout scénario d'incendie, il a été recommandé de prendre pour hypothèse un *potentiel toxique* générique de $900 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ pour tous les matériaux dans des feux bien ventilés, avant embrasement éclair, et de $450 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les incendies en air vicié, après embrasement éclair (voir 7.4 de l'ISO 13571:2007). La validité de l'hypothèse d'un *potentiel toxique* générique peut alors être évaluée en répétant l'évaluation, en utilisant des valeurs de *potentiel toxique* de 50 % et 200 % de la valeur générique prise par hypothèse. Si les valeurs de *potentiel toxique* alternatives modifient de manière significative le résultat de l'évaluation, des données de *potentiel toxique* encore plus exactes peuvent être exigées.

5 Aspects généraux des essais de toxicité à petite échelle

5.1 Généralités

Les essais de toxicité à petite échelle sont constitués essentiellement de deux parties:

- les conditions de décomposition (modèle physique de feu), pour lesquelles il convient qu'elles soient de nature à générer des effluents du feu qui ont la même composition relative que ceux qui seraient produits dans une phase spécifique d'un incendie réel, et
- les méthodes d'évaluation pour les effluents du feu, en vue de l'évaluation ou du calcul du *potentiel toxique* qui peuvent être effectuées soit en exposant les animaux aux effluents du feu, d'une manière contrôlée, et en surveillant leur réponse, soit en effectuant des analyses chimiques des effluents du feu et en estimant le *potentiel toxique* à partir de leurs *concentrations*.

Une partie critique de toute méthode est le fait d'être en mesure de relier l'effet toxique ou les *concentrations* observé(es) à la perte de masse du matériau en essai.

5.2 Modèles physiques du feu

Comme les modèles physiques du feu diffèrent, un matériau donné ne possède pas de *potentiel toxique* unique qui lui est associé.

La composition de l'effluent du feu d'un matériau donné n'est pas une propriété inhérente de ce matériau, mais elle dépend de façon cruciale des conditions dans lesquelles le matériau brûle. De ce fait, le *potentiel toxique* de l'effluent du feu dépend des conditions de combustion. La température de décomposition et le niveau de ventilation sont les principales variables qui affectent la composition de l'effluent du feu, et de ce fait le *potentiel toxique*.

Ces variables ont un effet critique parce qu'ils affectent la nature et les quantités tant d'*asphyxiant* que de l'espèce d'*irritant* qui est produit. Par exemple, si un matériel contient de

l'azote, donc dans l'ammoniac et du cyanure hydrogène ont tendance à être formé dans des conditions viciées, tandis que dans des oxydes et de l'azote ont tendance à être produit dans des conditions bien aérées.

Les conditions de combustion affectent aussi l'efficacité de la conversion de carbone en oxydes de carbone (le monoxyde de carbone et le dioxyde de carbone - la proportion CO_2/CO). Une proportion plus faible de CO_2/CO indique une proportion plus haute de monoxyde de carbone, qui aboutira à une valeur de *potentiel toxique* inférieure (c'est-à-dire plus toxique)

Il est crucial de démontrer que les conditions d'essai définies dans une méthode d'essai normalisée (le modèle physique de feu) sont pertinentes pour le type de feu souhaité dans le scénario d'incendie concerné, et peuvent le reproduire. L'ISO a publié, dans l'ISO 19706, une classification générale des types de feu, qui est donnée dans le Tableau 1. Les facteurs importants qui affectent le *potentiel toxique* des effluents du feu sont la concentration en oxygène et l'irradiation/la température.

L'ISO 16312-1 [4] donne des recommandations concernant les critères pour l'évaluation de la validité des modèles physiques de feu, afin d'obtenir des données sur la toxicité des effluents du feu, pour le danger d'incendie et l'appréciation des risques, et l'ISO/TR 16312-2 donne des évaluations de différents modèles physiques de feu.

L'ISO 19703 [5] fournit des définitions et des équations pour le calcul des rendements en produits toxiques, et les conditions de feu dans lesquelles ils ont été déduits en matière de rapport d'équivalence et de rendement de combustion.

5.3 Étapes d'un incendie dans un local

Il est possible d'établir un modèle général pour le développement du feu à l'intérieur d'un compartiment, dans lequel la courbe générale température-temps représente trois étapes, plus une étape de décroissance (voir Figure 1 et Tableau 1).

L'étape 1 (décomposition sans flammes) est l'étape initiale du feu avant qu'il n'y ait des flammes soutenues, avec une légère augmentation de la température dans la pièce dans laquelle se propage le feu. La fumée et la production d'effluents toxiques constituent les menaces principales au cours de cette étape. Les types de feu 1a, 1b et 1c peuvent tous se produire au cours de cette étape. L'étape 2 (feu en cours de développement) commence à l'allumage et se termine par une augmentation exponentielle de la température de la pièce dans laquelle se produit le feu. La propagation de flammes, le dégagement de chaleur et la production de fumées et d'effluents toxiques sont les principales menaces au cours de cette étape. Le type de feu 2 correspond à cette étape. L'étape 3 (feu pleinement développé) commence lorsque la surface de tous les éléments combustibles de la pièce s'est décomposée de telle sorte qu'un allumage soudain se produit dans toute la pièce, avec une augmentation rapide et importante de la température (embrasement éclair). Le type de feu 3b correspond à cette étape.

À la fin de l'étape 3, les produits combustibles et/ou l'oxygène ont été largement consommés et la température diminue donc à une vitesse qui dépend de l'aération et des caractéristiques de transfert de chaleur et de masse du système. Cela est appelé étape de décroissance.

Dans chacune de ces étapes, un mélange différent de produits de décomposition peut se former, et il influencera à tour de rôle la toxicité des effluents du feu produits au cours de cette étape.

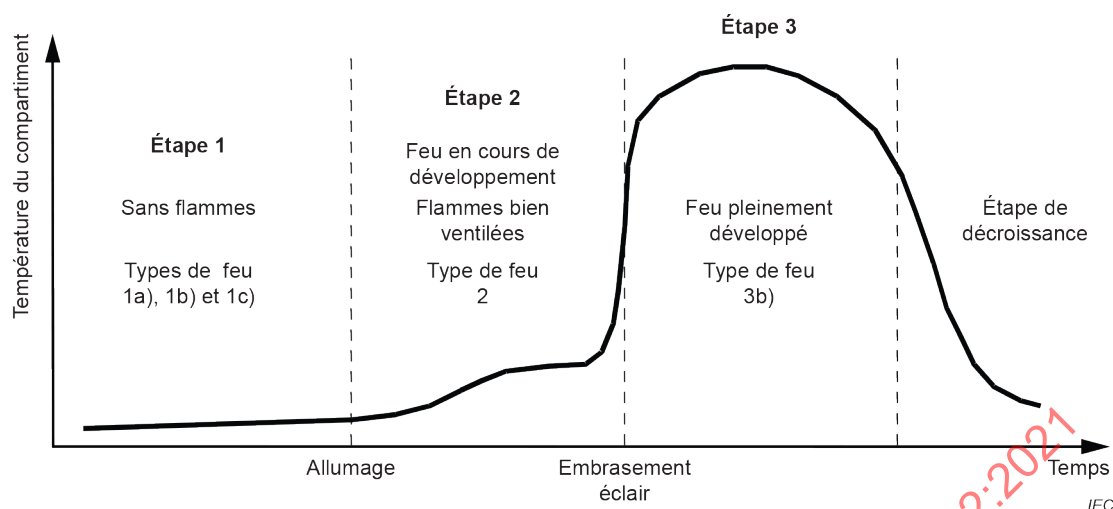


Figure 1 – Différentes phases du développement d'un feu à l'intérieur d'un local

5.4 Méthodes d'analyse

5.4.1 Généralités

Les premières études sur la toxicité des effluents du feu étaient principalement fondées sur l'analyse chimique des gaz du feu, et elles ont souvent apporté des conclusions erronées du fait des données insuffisantes concernant le *potentiel toxique* des différents gaz et le manque d'appréciation du rôle de la ventilation et de la température de décomposition.

Les travaux élaborés dans les années 70 et au début des années 80 ont porté sur les expérimentations sur les animaux, en se fondant sur le fait qu'une compréhension totale des interactions potentielles entre les différents composants des effluents du feu et la présence possible de produits présentant une toxicité spécifique anormalement élevée, ne peut être obtenue que par l'exposition des animaux.

Les conclusions de ces travaux indiquent qu'il existe seulement des effets modérément interactifs entre les constituants des effluents du feu, et qu'il ne s'est pas présenté d'exemple de la présence de produits présentant une toxicité spécifique anormalement élevée dans les effluents du feu. Les potentiels toxiques des effluents du feu provenant de la plupart des matériaux se sont révélés être dans un ordre de grandeur de un et demi.

Il est possible de calculer les potentiels toxiques des mélanges de gaz du feu de façon raisonnablement exacte, en se fondant sur les résultats des analyses chimiques et les données toxicologiques déjà disponibles à partir des essais sur animaux. Cela évite le besoin d'utiliser les animaux dans le mesurage de routine du *potentiel toxique*, bien qu'il soit reconnu qu'un usage limité des expérimentations sur les animaux peut être nécessaire lorsque les données toxicologiques de base pour un effluent du feu particulier ne sont pas disponibles.

Type de feu	Éclaircissement énergétique à la surface du combustible kW/m ²	Température max. °C		Oxygène en % du volume		Rapport d'équivalence combustible/air (panache)	[CO] [CO ₂] v/v	100 x [CO ₂] ([CO ₂] + [CO]) Efficacité en %
		Surface du combustible	Couche supérieure	Entraîné	Évacué			
1. Sans flammes								
a) feu couvant (autoentretenu)	non applicable	450 à 800	25 à 85 ^d	20	20	—	0,1 à 1	50 à 90
b) pyrolyse par oxydation provenant d'un rayonnement appliqué à l'extérieur	—	300 à 600 ^a	b	20	20	< 1	c	c
c) pyrolyse anaérobie provenant d'un rayonnement appliqué à l'extérieur	—	100 à 500	b	0	0	>> 1	c	c
2. Flammes bien ventilées ^d	0 à 60	350 à 650	50 à 500	≈ 20	≈ 20	< 1	< 0,05 ^e	> 95
3. Flammes avec ventilation insuffisante ^f								
a) feu de taille réduite, localisé, généralement dans un local mal ventilé	0 à 30	300 à 600 ^a	50 à 500	15 à 20	5 à 10	> 1	0,2 à 0,4	70 à 80
b) feu de post-embrasement éclair	50 à 150	350 à 650 ^g	> 600	< 15	< 5	> 1 ^h	0,1 à 0,4 ⁱ	70 à 90
a La limite supérieure est inférieure à celle d'une combustion avec flammes bien ventilées d'un combustible donné. b Il est fortement probable que la température de la pièce dans laquelle a lieu l'incendie dans la couche supérieure de fumées soit déterminée par la source du rayonnement appliquée extérieurement et par la configuration de la pièce. c Il existe peu de données mais, pour la pyrolyse, il est attendu que ce rapport varie largement en fonction de la chimie des matériaux et des conditions thermiques et de ventilation locales. d La consommation en oxygène du feu est réduite comparativement au volume de la pièce ou à l'apport extérieur, le sommet de la flamme se situe en dessous de la couche supérieure de gaz chaude, ou bien la couche supérieure n'est pas encore viciée de manière significative, pour augmenter la production de monoxyde de carbone de façon significative, les flammes ne sont pas tronquées par contact avec un autre objet, et la vitesse de combustion est commandée par la disponibilité du combustible. e Le rapport peut atteindre un ordre de grandeur supérieur pour des matériaux résistants au feu. Il n'y a pas d'augmentation significative de ce rapport pour des rapports d'équivalence allant jusqu'à ≈ 0,75. Entre ≈ 0,75 et 1, il peut apparaître une certaine augmentation de ce rapport. f La demande en oxygène du feu est limitée par l'ouverture (les ouvertures) des ventilations; les flammes s'étendent dans la couche supérieure. g Réputé similaire à un feu bien ventilé avec flammes. h Le rapport d'équivalence du panache n'a pas été mesuré; l'utilisation d'un rapport d'équivalence global est inappropriée. i Des rapports plus faibles ont à l'occasion été mesurés. En général, ils sont dus à une combustion secondaire en dehors des ouvertures de la pièce.								

5.4.2 Méthodes fondées sur des analyses chimiques

Les méthodes fondées sur des analyses chimiques utilisent des techniques analytiques de laboratoire conventionnelles pour mesurer de façon statique ou dynamique les concentrations de différents gaz dans l'effluent du feu produit par le modèle physique de feu [6].

Il existe plusieurs facteurs qui ont un impact critique sur l'exactitude des techniques fondées sur l'analyse chimique:

- a) il convient que l'éventail des espèces d'effluents sélectionnés pour l'analyse soit assez large pour englober les espèces dont un dégagement peut être raisonnablement attendu, sur la base de la connaissance de la composition du matériau en essai.
Dans tous les cas, il convient de mesurer le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone et l'oxygène.
- b) il doit exister une méthode fiable pour évaluer la perte de masse de l'éprouvette d'essai pendant l'essai, afin d'être en mesure de convertir les concentrations de gaz mesurées en concentrations par unité de perte de masse de l'éprouvette d'essai;
- c) il doit être possible de convertir les concentrations en gaz et la perte de masse mesurées en valeurs de *potentiel toxique*. Voir l'IEC 60695-7-3 pour une méthode de calcul.

Dans l'ISO 19701 [7], les méthodes pour l'échantillonnage et l'analyse des effluents du feu sont examinées, et dans l'ISO 19702 [8], des recommandations sont données concernant l'utilisation de la FTIR (analyse infrarouge à transformée de Fourier).

5.4.3 Méthodes fondées sur l'exposition d'animaux

À titre de recommandation, il convient de ne pas poursuivre les travaux sur des méthodes fondées sur des essais effectués avec des animaux.

NOTE Si la perte de masse de l'éprouvette d'essai n'est pas mesurée au cours d'un essai fondé sur l'exposition des animaux, les rendements des composants toxiques ne peuvent alors pas être calculés.

6 Résumé de méthodes d'essai fondées sur des analyses chimiques publiées

6.1 Généralités

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

Les méthodes d'essai fondées sur des analyses chimiques examinées dans le présent article ont été sélectionnées en s'appuyant sur le fait qu'elles représentent des normes publiées internationales, nationales ou de l'industrie, et qu'elles sont communément utilisées dans le domaine de l'électrotechnique. Il n'est pas prévu d'examiner toutes les méthodes d'essai possibles.

Dans les cas où les essais au feu ne sont pas encore spécifiés, et où il est nécessaire de les développer ou de les modifier pour les besoins spécifiques d'un comité d'études de l'IEC, cela doit être réalisé en liaison avec le comité d'études 89. La ou les méthodes d'essai sélectionnées doivent être adaptées au scénario d'incendie concerné. Des recommandations relatives à la sélection et à l'adaptation des essais au feu des produits électrotechniques sont données dans l'IEC 60695-1-10.

6.2 Ministère de la Défense du Royaume-Uni – DEF STAN 02-713

6.2.1 Résumé

L'essai décrit dans la DS 02-713 [9] explore la toxicité des produits de combustion en matière de petites espèces moléculaires survenant lorsqu'un petit échantillon de matériau est complètement brûlé sous excès d'air dans des conditions spécifiées.

NOTE Il a été remplacé par la DEF STAN 07-247 [10]. L'essai P6 appelle la méthode d'essai de l'OMI (voir 6.7) ou de la NF X70-100 (voir 6.5), avec des valeurs C_f différentes (voir le Tableau 2). Une note établit que la DS 02-713 peut toujours être utilisée pour les essais, en accord avec l'autorité technique du groupe de consultation naval.

6.2.2 But et principe

Des données analytiques de certaines petites espèces moléculaires gazeuses provenant de la combustion complète dans des conditions de combustion avec flammes du matériau en essai sont mathématiquement calculées en utilisant le niveau d'exposition (*fraction volumique*) de chaque gaz pour provoquer la mort dans un intervalle de base de 30 min, pour en tirer un indice de toxicité combiné.

6.2.3 Éprouvette d'essai

Un nombre suffisant d'éprouvettes d'essai (normalement trois) est découpé du matériau en essai. La masse de l'éprouvette d'essai est choisie pour fournir une précision analytique optimale, en fonction de la nature des produits de combustion et de la sensibilité de la procédure d'analyse.

6.2.4 Méthode d'essai

L'appareillage est une enveloppe étanche à l'air d'au moins 0,7 m³, garnie d'une feuille plastique opaque telle que le polypropylène. Le caisson est équipé d'un ventilateur de brassage. La source de chaleur est un brûleur à bec Bunsen alimenté de méthane ayant une température de 1 150 °C ± 50 °C, et l'éprouvette d'essai est équipée d'un support permettant de la placer dans les limites de flamme. La combustion est maintenue pour assurer la combustion complète de l'ensemble de l'éprouvette d'essai, et le temps est enregistré.

L'atmosphère de la chambre d'essai est prélevée au moyen de tubes de détection de gaz colorimétriques. Après combustion complète, le brûleur est éteint. Pendant une durée de 30 s, le ventilateur de brassage est mis en marche. Il est ensuite éteint et les gaz sont prélevés. Les essais pour les halogènes contenant des gaz sont effectués en premier. Les gaz analysés sont les suivants: monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène, ammoniac, formaldéhyde, chlorure d'hydrogène, acrylonitrile, dioxyde de soufre, oxydes d'azote (NO_x), phénol, cyanure d'hydrogène, bromure d'hydrogène, fluorure d'hydrogène, et phosgène.

Un facteur de correction d'essai à blanc pour les gaz à mesurer est également déterminé en utilisant un essai exempt d'échantillon.

Les résultats sont exprimés en tant qu'indice de toxicité, fondé sur un calcul pondéré comme suit:

$$\text{Indice de toxicité} = \sum C_{\theta} / C_f$$

où

C_f est la *fraction létale de volume* du gaz à l'étude pendant une durée d'exposition de 30 min, comme l'indique le Tableau 2;

C_{θ} est la fraction volumique de chaque gaz produit lorsque 100 g de matériau est brûlé et que les produits de combustion sont dispersés dans 1 m³ d'air.

Tableau 2 – Valeurs de C_f pour différents gaz

Gaz	Valeur de $C_f \times 10^6$ DS 02-713	Valeur de $C_f \times 10^6$ DS 07-247
Dioxyde de carbone	100 000	100 000
Monoxyde de carbone	4 000	1450
Sulfure d'hydrogène	750	-
Ammoniac	750	-
Formaldéhyde	500	-
Chlorure d'hydrogène	500	500
Acrylonitrile	400	400
Dioxyde de soufre	400	120
Oxydes d'azote	250	100
Phénol	250	-
Cyanure d'hydrogène	150	90
Bromure d'hydrogène	150	150
Fluorure d'hydrogène	100	0
Phosgène	25	-
Acroléine	-	5

6.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

Les premières versions de l'essai ont souffert d'une médiocre reproductibilité du fait de la spécification inadéquate de la chambre d'essai. L'utilisation des tubes colorimétriques introduit également des erreurs significatives dues à la fois au manque de précision des tubes et au délai causé par la méthode d'analyse séquentielle. Il peut y avoir une dégradation significative des concentrations de gaz pendant la période d'échantillonnage, qui peut atteindre 30 min.

6.2.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Cette méthode d'essai est à présent largement critiquée (voir par exemple l'ISO 16312-2 et la référence [11]):

- la combinaison des conditions de ventilation et de température de la flamme signifie que le modèle physique de feu utilisé dans cette méthode ne correspond à aucun des types de feu décrits dans le Tableau 1;
- les valeurs de pondération utilisées dans le calcul de l'indice de toxicité global sont périmées et susceptibles de causer un parti pris injustifié contre certaines classes de matériaux, et
- les données sont exprimées selon un format dont l'utilisation est inadaptée à l'évaluation des dangers toxiques.

Globalement, cette méthode n'est pas recommandée en tant que fondement pour de nouvelles études de produits électrotechniques. Il convient de ne pas l'utiliser comme base pour une régulation ou autres contrôles sur les dangers toxiques pour les produits électrotechniques, du fait des limites sur le modèle physique de feu, de la méthode de calcul et du format des données finales. Il convient de ne pas utiliser les données issues de cet essai comme entrée pour les évaluations des dangers toxiques, les évaluations de dangers d'incendie ou les calculs de techniques de sécurité incendie.

Comme pour de nombreux modèles physiques de feu, aucune indication n'est donnée concernant la vitesse de combustion, et donc les matériaux retardateurs de flamme peuvent

subir une combustion forcée à la même vitesse que les matériaux sans aucun caractère ignifugeant. Par conséquent, des données d'entrée supplémentaires sur les vitesses de combustion dans différents types de feu sont exigées pour l'évaluation des dangers d'incendie.

6.3 Airbus industrie

6.3.1 Résumé

Airbus ABD 0031 [12] contient les critères de conception de résistance au feu utilisés à l'intérieur de la section pressurisée du fuselage des avions commerciaux d'Airbus. Il spécifie les exigences de la toxicité des fumées d'incendie (FST, *fire-smoke-toxicity*) et des méthodes d'essai applicables. Les éléments suivants se rapportent uniquement aux exigences de toxicité.

6.3.2 But et principe

Les parties non métalliques et les sous-ensembles qui sont prévus pour être installés à l'intérieur de la partie pressurisée du fuselage de l'avion de catégorie transport, à l'exception des matériaux utilisés dans des parties réduites, telles que les boutons, poignées, roulements, attaches, pinces, passe-fil, bandes de caoutchouc, poulies et petites parties électriques, sont soumis à l'essai décrit en 6.3.4.

6.3.3 Éprouvette d'essai

Les éprouvettes d'essai ont une dimension de 76,2 mm × 76,2 mm × l'épaisseur d'installation prévue.

6.3.4 Méthode d'essai

L'essai est réalisé en le combinant (non simultanément) à l'essai de l'opacité des fumées dans la chambre à fumées du NBS (Bureau national des normes, National Bureau of Standards), conformément à l'ASTM E-662 [13].

La procédure d'échantillonnage de gaz débute immédiatement après l'essai de fonctionnement à la fumée de 4 min et après 16 min pour les matériaux d'isolation des fils et câbles électriques.

Au moins deux éprouvettes d'essai sont soumises à l'essai pour chaque condition d'essai (combustion avec flammes et absence de flammes).

Les méthodes utilisées pour l'analyse chimique sont par exemple la chromatographie ionique ou la chromatographie en phase gazeuse. D'autres méthodes peuvent être utilisées, mais il doit être démontré par des essais de comparaison que des résultats équivalents sont obtenus.

Les *fractions volumiques* observées des gaz suivants sont comparées par rapport aux limites de spécification. Il convient que la moyenne des *fractions volumiques* des composants de gaz suivants de la fumée ne dépasse pas les limites énumérées dans le Tableau 3 pendant la durée d'essai applicable (4 min et 16 min, respectivement), dans des conditions de combustion avec flammes et exemptes de flammes.

Tableau 3 – Limites de *fraction volumique* pour composants de gaz

Composants de gaz	Limite de <i>fraction volumique</i> × 10 ⁶
Fluorure d'hydrogène	100
Chlorure d'hydrogène	150
Cyanure d'hydrogène	150
Dioxyde de soufre	100
Gaz nitreux	100
Monoxyde de carbone	3 500

6.3.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

6.3.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les conditions de feu et de ventilation ne permettent pas une comparaison entre ce modèle physique de feu et l'un des types de feu décrits dans le Tableau 1.

Seul un nombre limité de composants de gaz est pris en considération.

6.4 Comité Électrotechnique Italien (CEI)**6.4.1 Résumé**

L'essai décrit dans la CEI 20-37/7 [17] est utilisé pour la détermination de l'opacité et de la corrosivité des fumées et pour la détermination d'un indice de toxicité des gaz émis pendant la combustion des câbles électriques et de leurs composés.

6.4.2 But et principe

Cet essai est utilisé pour mesurer la quantité de différents gaz émis pendant la combustion d'une petite éprouvette d'essai de matériau dans un four tubulaire à circulation d'air continue.

Un indice de toxicité est calculé en se fondant sur les concentrations de gaz mesurées et une série de facteurs de pondération.

6.4.3 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai, de masse type de 1,0 g, est une pièce de matériau ou une éprouvette d'essai découpée dans un produit fini.

6.4.4 Méthode d'essai

L'éprouvette d'essai est introduite à l'intérieur d'un tube de quartz placé dans un four tubulaire réglé à $800\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$; une circulation d'air de $120\text{ L} \times \text{h}^{-1} \pm 5\text{ L} \times \text{h}^{-1}$ passe à travers le tube et sur l'éprouvette d'essai.

L'effluent du feu passe à travers des flacons de lavage, et l'effluent insoluble est collecté dans une poche à gaz.

Les gaz analysés sont les suivants: monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, dioxyde de soufre, formaldéhyde, ammoniac, cyanure d'hydrogène, chlorure d'hydrogène, bromure d'hydrogène, fluorure d'hydrogène, sulfure d'hydrogène, acrylonitrile et oxydes d'azote.

Différentes méthodes sont utilisées pour l'analyse chimique, par exemple la spectrophotométrie, la chromatographie en phase gazeuse, l'analyse à infrarouge et la potentiométrie.

6.4.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

6.4.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les conditions de température d'essai et de ventilation dans cette méthode sont telles que le modèle physique de feu ne correspond à aucun des types de feu décrits dans le Tableau 1. Cependant, avec des modifications apportées soit à la température d'essai soit au débit d'air, le modèle physique de feu peut être réalisé pour reproduire les types de feu 2 ou 3b (voir le Tableau 1).

La perte de masse de l'éprouvette d'essai n'est pas consignée pendant ou après l'essai et, de ce fait, les résultats ne peuvent pas être exprimés en tant que *potentiel toxique*.

Comme pour de nombreux modèles physiques de feu, aucune indication n'est donnée concernant la vitesse de combustion, et donc les matériaux retardateurs de flamme peuvent subir une combustion forcée à la même vitesse que les matériaux sans aucun caractère ignifugeant. Par conséquent, des données d'entrée supplémentaires sur les vitesses de combustion dans différents types de feu sont exigées pour l'évaluation des dangers d'incendie.

Un essai similaire, AFAP-3 [18], a été mis au point par l'OTAN (NATO), dans lequel les essais sont réalisés à 350 °C ou 800 °C, avec une circulation d'air de 2 L·min⁻¹. En plus de la détermination du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone, du cyanure d'hydrogène, du fluorure d'hydrogène, du chlorure d'hydrogène, du bromure d'hydrogène, des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre, cette variante exige la détermination de l'acrylonitrile, de l'ammoniac, du phénol, du benzène, du styrène et du toluène dans les deux conditions, et également la détermination du sulfure d'hydrogène, de l'acide formique, du disulfure de carbone et de l'acétaldéhyde à 350 °C.

6.5 Norme Française (NF)

6.5.1 Résumé

Les essais décrits dans la NF C20-454 [19] et la NF X70-100 [20][21] sont utilisés pour la détermination d'un indice de toxicité des gaz émis pendant la combustion des éprouvettes d'essai dans un four tubulaire. La NF C20-454 est destinée aux matériaux utilisés dans les applications électrotechniques, et la NF X70-100 a été élaborée pour les essais des produits et des matériaux utilisés dans l'industrie ferroviaire.

6.5.2 But et principe

Ces essais mesurent et quantifient les différents gaz émis pendant la combustion ou la pyrolyse des éprouvettes d'essai.

Les gaz analysés sont les suivants: monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, chlorure d'hydrogène, bromure d'hydrogène, fluorure d'hydrogène, cyanure d'hydrogène, oxydes d'azote (NO et NO₂), dioxyde de soufre, formaldéhyde et acroléine.

6.5.3 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai, de masse type de 1,0 g, est une pièce de matériau ou une éprouvette d'essai découpée dans un produit fini.

6.5.4 Méthode d'essai

L'éprouvette d'essai est placée dans une nacelle en porcelaine à l'intérieur d'un tube à combustion en quartz placé dans un four tubulaire régulé à 800 °C ou, dans le cas de la NF X70-100, 400 °C ou 600 °C. Un débit d'air de 120 L·h⁻¹ passe à travers le tube, sur l'éprouvette d'essai.

Une variété de méthodes analytiques peut être utilisée, y compris la chromatographie, la potentiométrie, la chimie par voie humide classique, l'IR et la FTIR.

6.5.5 Répétabilité et reproductibilité

Les données des essais interlaboratoires sont consignées dans la NF X70-100-1 [20].

6.5.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les conditions de température d'essai et de ventilation dans cette méthode signifient que le modèle physique de feu ne correspond à aucun des types de feu décrits dans le Tableau 1. Cependant, avec des modifications apportées soit à la température d'essai soit au débit d'air, le modèle physique de feu peut être réalisé pour reproduire les types de feu 2 ou 3b (voir le Tableau 1).

La perte de masse de l'éprouvette d'essai n'est pas consignée pendant ou après l'essai et, de ce fait, les résultats ne peuvent pas être exprimés en tant que *potentiel toxique*.

Comme pour de nombreux modèles physiques de feu, aucune indication n'est donnée concernant la vitesse de combustion, et donc les matériaux retardateurs de flamme peuvent subir une combustion forcée à la même vitesse que les matériaux sans aucun caractère ignifugeant. Par conséquent, des données d'entrée supplémentaires sur les vitesses de combustion dans différents types de feu sont exigées pour l'évaluation des dangers d'incendie.

Les résultats des essais de la NF X70-100 ont été comparés aux rendements en gaz à partir d'essais au feu en grandeur réelle de matériaux utilisés dans les trains [22]. Certaines corrélations raisonnables ont été trouvées pour la toxicité des matériaux structurels.

La NF X70-100 est l'une des méthodes d'essai de toxicité spécifiées dans l'EN 45545-2 [23] et dans l'EN 17084 [26] (voir 6.9).

La NF X70-100 est traitée dans l'ISO 16312-2.

6.6 Méthodes d'essai de l'ISO

6.6.1 ISO/TS 19021

6.6.1.1 Résumé

L'ISO/TS 19021 [24] spécifie une méthode d'essai pour analyser les effluents générés pendant la pyrolyse et la combustion d'un échantillon soumis à l'essai selon l'ISO 5659-2 [25]. L'analyse des gaz est fondée sur la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) décrite dans l'ISO 19702, avec des spécifications supplémentaires sur l'étalonnage de l'appareillage d'essai et de l'analyseur approprié pour son application à ce modèle physique de feu.

NOTE 1 L'ISO 5659-2 [25] décrit un essai statique de fumée dans lequel un échantillon horizontal est exposé à une chaleur rayonnante provenant d'un radiateur conique dans une enceinte de volume égal à 0,51 m³.

NOTE 2 L'EN 17084 [26] (voir 6.9) décrit une méthode d'essai presque identique à celle de l'ISO/TS 19021 [24].

6.6.1.2 But et principe

Le but de cette méthode d'essai est d'analyser les effluents (type de gaz et concentration) produits par un échantillon chauffé par un flux de chaleur constant (25 kW/ m^2 ou 50 kW/ m^2) et qui s'accumule dans une enceinte.

6.6.1.3 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai est une plaque plane carrée de dimension 75 mm par 75 mm, avec une épaisseur maximale de 25 mm, comme cela est spécifié dans l'ISO 5659-2.

6.6.1.4 Méthode d'essai

L'éprouvette est préparée et soumise à l'essai conformément à l'ISO 5659-2. Pendant l'essai (détermination de la densité optique de la fumée), l'effluent est échantillonné à partir de l'enceinte à fumée au moyen d'une conduite d'échantillonnage chauffée ($180 \text{ }^\circ\text{C}$) et transporté vers une cellule de gaz IRTF chauffée également à $180 \text{ }^\circ\text{C}$. La fréquence d'échantillonnage est de $1,5 \cdot \text{s}^{-1}$. Une analyse de gaz par IRTF est réalisée toutes les 15 s au moins.

6.6.1.5 Répétabilité et reproductibilité

Des données de fidélité sont fournies à l'Annexe B de l'ISO/TS 19021:2018.

6.6.1.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les stades de développement d'un feu 1b (pyrolyse par oxydation) et 3a (combustion avec flammes bien ventilée) peuvent être soumis à l'essai.

L'appareillage est relativement simple à utiliser et largement disponible. Il présente toutefois des inconvénients. Les gaz sont mélangés par convection naturelle et une stratification possible peut mener à un échantillonnage non représentatif des gaz de combustion. Une viciation peut se produire avec des matériaux épais ou moins stables thermiquement, ce qui peut affecter la production de produits de combustion. Le rapport d'équivalence varie au cours de l'essai. Les gaz du feu passent à travers le radiateur conique et peuvent s'accumuler dans la partie supérieure de l'enceinte, étant donné qu'il n'est pas utilisé de ventilateur pour le brassage. Une absorption de gaz par la suie et par les parois de l'enceinte peut se produire. Il n'y a pas de comparaisons consignées de production de gaz toxiques avec les données provenant d'essais au feu à échelle réelle. La méthode est discutable pour produire des données de toxicité d'effluents destinées à être utilisées dans l'analyse des dangers d'incendie.

Cette méthode d'essai a été développée à partir de la méthode de l'OMI (voir 6.8). Elle donne une spécification plus précise de l'appareillage et des procédures d'essai. Une amélioration majeure par rapport à la méthode de l'OMI est l'analyse des effluents toutes les 15 s, tandis que la méthode de l'OMI ne préconise qu'une seule analyse de gaz.

NOTE Le modèle physique du feu est fondé sur la méthode de l'enceinte à fumée du NBS, mais incorpore de nombreuses améliorations utiles - voir l'IEC 60695-6-2 [27].

6.6.2 ISO/TS 19700

6.6.2.1 Résumé

L'ISO/TS 19700 [28] est une méthode d'essai de four tubulaire. Il s'agit du développement d'un essai élaboré au Royaume-Uni, la BS 7990 [29].

NOTE La BS 7990 est traitée dans l'ISO 16312-2.

6.6.2.2 But et principe

Des échantillons d'un matériau ou d'un produit sont brûlés dans les conditions de régime permanent, dans un ou plusieurs des quatre environnements dont la température et le rapport

d'équivalence sont représentatifs d'une étape particulière d'un feu. Les quatre types de feu à représenter sont les suivants: pyrolyse par oxydation, feux en cours de développement avec flammes bien ventilées, incendies en air vicié avec petites flammes, et incendies en air vicié après embrasement éclair, comme cela est défini dans l'ISO 19706.

6.6.2.3 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai est répartie uniformément le long de la nacelle, de sorte qu'un flux constant de produits de décomposition soit produit, tandis que l'échantillon passe à travers le tube en quartz. Il convient que la charge de combustible soit approximativement de 20 g, répartie sur 800 mm (25 g·m⁻¹). Il convient que l'éprouvette d'essai ait de préférence la forme d'une barre de section uniforme.

6.6.2.4 Méthode d'essai

Chaque matériau est soumis aux essais dans l'une des conditions suivantes indiquées dans le Tableau 4.

Tableau 4 – Conditions de décomposition

Type de feu (voir Tableau 1)	Température du four	Débit d'air primaire	Rapport d'équivalence ϕ
1b, pyrolyse par oxydation	350 °C	2 dm ³ × min ⁻¹	N/A
2, flammes bien ventilées	650 °C	10 dm ³ × min ⁻¹	< 1,0
3a, incendie de taille réduite en air vicié, dans un local fermé ou mal ventilé	650 °C	variable	2,0
3b, incendie après embrasement éclair dans un local ouvert	825 °C	variable	2,0

6.6.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Les données de répétabilité et reproductibilité sont données pour le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polyéthylène basse densité (PEBD), le polyamide 66 (PA 66) et le polychlorure de vinyle (PVC).

6.6.2.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les données de *potentiel toxique* peuvent être obtenues dans les conditions correspondant aux types de feu 1b, 2, 3a et 3b. Deux des annexes informatives de l'ISO/TS 19700 présentent comment les données obtenues peuvent être utilisées conformément à l'ISO 13344 et à l'ISO 13571. D'autres annexes informatives sont:

- Des recommandations relatives au choix de conditions de décomposition supplémentaires;
- L'utilisation de la méthode du four tubulaire à des fins de dosages biologiques;
- Le mesurage de la densité optique à partir du four tubulaire à conditions stables;
- La comparaison des données du four tubulaire à conditions stables, de l'essai dans le coin d'une pièce de l'ISO 9705-1 [30] et d'autres expériences de feu dans un compartiment, et
- l'évaluation des données de vitesse de perte de masse

Cette méthode d'essai implique des essais préliminaires, afin de régler la charge d'échantillon et le débit d'air, de sorte que, au cours de la décomposition permanente, les rapports d'équivalence souhaités de combustible par rapport à l'oxygène soient obtenus. Il s'agit probablement de l'essai de *potentiel toxique* normalisé le plus sophistiqué d'un point de vue

technique actuellement disponible, mais il est par conséquent aussi techniquement complexe, ce qui peut être considéré comme une limite.

Comme pour de nombreux modèles physiques de feu, aucune indication n'est donnée concernant la vitesse de combustion d'un matériau d'essai dans un feu réel, et donc les matériaux retardateurs subissent une combustion forcée à la même vitesse que les matériaux sans aucun caractère ignifugeant. Par conséquent, des données d'entrée supplémentaires sur les vitesses de combustion dans différents scénarios de feu sont exigées pour l'évaluation des dangers d'incendie.

NOTE La BS 7990 est traitée dans l'ISO 16312-2.

6.7 Organisme Maritime International (OMI)

6.7.1 Résumé

La procédure d'essai au feu du Code FTP partie 2 par l'OMI [31] pour l'essai de production de fumée et de production de gaz toxique est effectuée à l'aide de l'appareillage de l'ISO 5659-2 [25], avec l'analyse IRTF réalisée conformément à l'ISO 19702. La toxicité et la densité des fumées sont mesurées pendant cet essai.

6.7.2 But et principe

Cette méthode d'essai à critères d'évaluation est utilisée en tant que méthode d'essai obligatoire pour les matériaux de finition de surface utilisés à bord des navires dans le cadre des exigences de sécurité incendie de l'International Convention of Safety of Life at Sea 1974 (SOLAS) modifiée. La méthode d'essai est spécifiée dans le code international pour l'application des procédures d'essai au feu (Code FTP, Fire Test Procedures) adopté par l'OMI en tant que résolution MSC.307(88) en 2010.

6.7.3 Éprouvette d'essai

Les dimensions de l'éprouvette d'essai sont 75 mm × 75 mm, telles qu'elles sont spécifiées dans l'ISO 5659-2 [25].

6.7.4 Méthode d'essai

Cette méthode d'essai suit les procédures de l'ISO 5659-2 [25] dans la plupart de ses aspects. La durée de l'essai correspond à un minimum de 10 min avec extension de l'essai pendant 10 min supplémentaires, si la valeur du facteur de transmission de lumière minimale n'a pas été atteinte.

Trois éprouvettes d'essai sont soumises à l'essai comme suit:

- a) éclairage énergétique 25 kW × m⁻² en présence d'une flamme pilote;
- b) éclairage énergétique 25 kW × m⁻² en l'absence d'une flamme pilote; et
- c) éclairage énergétique 50 kW × m⁻² en l'absence d'une flamme pilote.

Les résultats sont exprimés en *fractions volumiques* de gaz. Les valeurs maximales autorisées sont données ci-après (voir Tableau 5):

Tableau 5 – Limites de *fraction volumique* pour composants de gaz

Composants de gaz	Limite de <i>fraction volumique</i> × 106
Monoxyde de carbone	1 450
Chlorure d'hydrogène	600
Dioxyde de soufre	120 (200 pour les revêtements de sol)
Oxydes d'azote	350
Cyanure d'hydrogène	140
Bromure d'hydrogène	600
Fluorure d'hydrogène	600

6.7.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

6.7.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les stades de développement d'un feu 1b (pyrolyse par oxydation) et 3a (combustion avec flammes bien ventilée) peuvent être soumis à l'essai.

L'appareillage est relativement simple à utiliser et largement disponible. Il présente toutefois des inconvénients. Les gaz sont mélangés par convection naturelle et une stratification possible peut mener à un échantillonnage non représentatif des gaz de combustion. Une viciation peut se produire avec des matériaux épais ou moins stables thermiquement, ce qui peut affecter la production de produits de combustion. Le rapport d'équivalence varie au cours de l'essai. Les gaz du feu passent à travers le radiateur conique et peuvent s'accumuler dans la partie supérieure de l'enceinte, étant donné qu'il n'est pas utilisé de ventilateur pour le brassage. Une absorption de gaz par la suie et par les parois de l'enceinte peut se produire. Il n'y a pas de comparaisons consignées de production de gaz toxiques avec les données provenant d'essais au feu à échelle réelle. La méthode est discutable pour produire des données de toxicité d'effluents destinées à être utilisées dans l'analyse des dangers d'incendie. La méthode ne spécifie qu'une seule analyse de gaz.

NOTE 1 Le modèle physique du feu est fondé sur la méthode de l'enceinte à fumée du NBS, mais incorpore de nombreuses améliorations utiles - voir l'IEC 60695-6-2 [27].

NOTE 2 Les essais utilisant cette chambre à fumées sont traités dans l'ISO 16312-2.

6.8 Essai de toxicité pour les câbles des matériels roulants

6.8.1 Résumé

L'essai décrit en 9.2 de l'EN 50305 [32] est utilisé pour mesurer la toxicité des produits de combustion survenant lorsqu'un petit échantillon d'un matériau est complètement brûlé sous excès d'air, dans des conditions spécifiées. Le matériau provient de l'enveloppe isolante ou de la gaine, ou de tout autre composant non métallique prélevé sur un câble de matériel roulant.

Il ne s'applique qu'aux matériaux définis comme "exempts d'halogènes". Les analyses quantitatives pour le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote ne sont entreprises que si des essais qualitatifs préliminaires (par fusion de sodium) ont démontré que le soufre et l'azote sont présents dans le matériau.

NOTE L'expression "exempt d'halogènes" est telle qu'elle est définie à l'Article 3 de l'EN 50306-1 [33].