

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60695-7-2

Première édition
First edition
2002-06

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais relatifs aux risques du feu –

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

Fire hazard testing –

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 60695-7-2:2002

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

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

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

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

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC**

TR 60695-7-2

Première édition
First edition
2002-06

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 7-2:

Toxicité des effluents du feu –

Résumé et pertinence des méthodes d'essai

Fire hazard testing –

Part 7-2:

Toxicity of fire effluent –

Summary and relevance of test methods

© IEC 2002 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives	14
3 Définitions	14
4 Rôle des essais de toxicité à échelle réduite	20
4.1 Généralités	20
4.2 Potentiel toxique	22
4.3 Dose effective fractionnelle (<i>DEF</i>) et risque toxique	24
4.4 Potentiel toxique normal	24
5 Aspects généraux des essais de toxicité à petite échelle	24
5.1 Modèle feu	24
5.2 Approche analytique – Généralités	26
5.2.1 Méthodes fondées sur une analyse chimique	28
5.2.2 Méthodes fondées sur l'exposition d'animaux	28
6 Résumé de méthodes d'essais fondées sur les analyses chimiques publiées	28
6.1 Ministère de la Défense du Royaume Uni – Defence Standard (DS)	28
6.1.1 Résumé	28
6.1.2 But et principe	30
6.1.3 Éprouvette d'essai	30
6.1.4 Méthode d'essai	30
6.1.5 Répétabilité et reproductibilité	32
6.1.6 Pertinence des données d'essai et observations particulières	32
6.1.7 Document de référence	34
6.2 Airbus Industrie	34
6.2.1 Résumé	34
6.2.2 But et principe	34
6.2.3 Éprouvette d'essai	34
6.2.4 Méthode d'essai	34
6.2.5 Répétabilité et reproductibilité	36
6.2.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales	36
6.2.7 Documents de référence	36
6.3 Comité Électrotechnique Italien (CEI)	36
6.3.1 Résumé	36
6.3.2 But et principe	36
6.3.3 Éprouvette d'essai	36
6.3.4 Méthode d'essai	36
6.3.5 Répétabilité et reproductibilité	38
6.3.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales	38
6.3.7 Document de référence	38

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	13
1 Scope.....	15
2 Normative references	15
3 Definitions	15
4 Role of small-scale toxicity tests.....	21
4.1 General.....	21
4.2 Toxic potency.....	23
4.3 Fractional Effective Dose (<i>FED</i>) and toxic hazard	25
4.4 Normal toxic potencies	25
5 General aspects of small-scale toxicity tests.....	25
5.1 Fire model.....	25
5.2 Analytical approach – General.....	27
5.2.1 Chemical analysis based methods	29
5.2.2 Methods based on animal exposure.....	29
6 Summary of published chemical analysis based test methods	29
6.1 UK Ministry of Defence – Defence Standard (DS).....	29
6.1.1 Summary.....	29
6.1.2 Purpose and principle.....	31
6.1.3 Test specimen	31
6.1.4 Test method	31
6.1.5 Repeatability and reproducibility.....	33
6.1.6 Relevance of test data and special observations	33
6.1.7 Reference document	35
6.2 Airbus industry	35
6.2.1 Summary.....	35
6.2.2 Purpose and principle.....	35
6.2.3 Test specimen	35
6.2.4 Test method	35
6.2.5 Repeatability and reproducibility.....	37
6.2.6 Relevance of test data and special observations	37
6.2.7 Reference documents.....	37
6.3 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI).....	37
6.3.1 Summary.....	37
6.3.2 Purpose and principle.....	37
6.3.3 Test specimen	37
6.3.4 Test method	37
6.3.5 Repeatability and reproducibility.....	39
6.3.6 Relevance of test data and special observations	39
6.3.7 Reference documents.....	39

6.4	Norme Française (NF)	38
6.4.1	Résumé	38
6.4.2	But et principe	38
6.4.3	Éprouvette d'essai	38
6.4.4	Méthode d'essai	38
6.4.5	Répétabilité et reproductibilité	40
6.4.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	40
6.4.7	Document de référence	40
6.5	Commission Électrotechnique Internationale (CEI)	40
6.5.1	Résumé	40
6.5.2	But et principe	40
6.5.3	Éprouvette d'essai	42
6.5.4	Méthode d'essai	42
6.5.5	Prélèvements d'effluent	42
6.5.6	Répétabilité et reproductibilité	44
6.5.7	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	44
6.5.8	Documents de référence	44
6.6	Organisme Maritime International (OMI)	44
6.6.1	Résumé	44
6.6.2	But et principe	44
6.6.3	Éprouvette d'essai	44
6.6.4	Méthode d'essai	44
6.6.5	Répétabilité et reproductibilité	46
6.6.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	46
6.6.7	Documents de référence	46
7	Résumé des méthodes d'essai publiées fondées sur l'exposition d'animaux	46
7.1	Deutsches Institut für Normung (DIN)	46
7.1.1	Résumé	46
7.1.2	But et principe	46
7.1.3	Éprouvette d'essai	46
7.1.4	Méthode d'essai	48
7.1.5	Répétabilité et reproductibilité	48
7.1.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	48
7.1.7	Documents de référence	48
7.2	Bureau National des Normes (NBS)	48
7.2.1	Résumé	48
7.2.2	But et principe	50
7.2.3	Éprouvette d'essai	50
7.2.4	Méthode d'essai	50
7.2.5	Répétabilité et reproductibilité	50
7.2.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	52
7.2.7	Documents de référence	52
7.3	National Institute of Standards and Technology (NIST)	52
7.3.1	Résumé	52
7.3.2	But et principe	54
7.3.3	Éprouvette d'essai	54
7.3.4	Méthode d'essai	54
7.3.5	Répétabilité et reproductibilité	56

6.4	Norme Française (NF)	39
6.4.1	Summary	39
6.4.2	Purpose and principle	39
6.4.3	Test specimen	39
6.4.4	Test method	39
6.4.5	Repeatability and reproducibility	41
6.4.6	Relevance of test data and special observations	41
6.4.7	Reference documents	41
6.5	International Electrotechnical Commission (IEC)	41
6.5.1	Summary	41
6.5.2	Purpose and principle	41
6.5.3	Test specimen	43
6.5.4	Test method	43
6.5.5	Sampling of effluent	43
6.5.6	Repeatability and reproducibility	45
6.5.7	Relevance of test data and special observations	45
6.5.8	Reference documents	45
6.6	International Maritime Organization (IMO)	45
6.6.1	Summary	45
6.6.2	Purpose and principle	45
6.6.3	Test specimen	45
6.6.4	Test method	45
6.6.5	Repeatability and reproducibility	47
6.6.6	Relevance of test data and special observations	47
6.6.7	Reference documents	47
7	Summary of published test methods relating to animal exposure	47
7.1	Deutsches Institut für Normung (DIN)	47
7.1.1	Summary	47
7.1.2	Purpose and principle	47
7.1.3	Test specimen	47
7.1.4	Test method	49
7.1.5	Repeatability and reproducibility	49
7.1.6	Relevance of test data and special observations	49
7.1.7	Reference documents	49
7.2	National Bureau of Standards (NBS)	49
7.2.1	Summary	49
7.2.2	Purpose and principle	51
7.2.3	Test specimen	51
7.2.4	Test method	51
7.2.5	Repeatability and reproducibility	51
7.2.6	Relevance of test data and special observations	53
7.2.7	Reference documents	53
7.3	National Institute of Standards and Technology (NIST)	53
7.3.1	Summary	53
7.3.2	Purpose and principle	55
7.3.3	Test specimen	55
7.3.4	Test method	55
7.3.5	Repeatability and reproducibility	57

7.3.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	56
7.3.7	Documents de référence.....	56
7.4	Université de Pittsburgh (Upitt).....	56
7.4.1	Résumé	56
7.4.2	But et principe	56
7.4.3	Éprouvette d'essai	58
7.4.4	Méthode d'essai	58
7.4.5	Répétabilité et reproductibilité	58
7.4.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	58
7.4.7	Documents de référence.....	60
7.5	Ministère japonais du Bâtiment (JMC)	60
7.5.1	Résumé	60
7.5.2	But et principe	60
7.5.3	Éprouvette d'essai	60
7.5.4	Méthode d'essai	60
7.5.5	Répétabilité et reproductibilité	62
7.5.6	Pertinence des données d'essai et observations spéciales	62
7.5.7	Documents de référence.....	62
Annexe A (informative) Vue d'ensemble des méthodes d'essai de toxicité		64
Bibliographie.....		66

7.3.6	Relevance of test data and special observations	57
7.3.7	Reference documents.....	57
7.4	University of Pittsburgh (Upitt).....	57
7.4.1	Summary.....	57
7.4.2	Purpose and principle.....	57
7.4.3	Test specimen	59
7.4.4	Test method	59
7.4.5	Repeatability and reproducibility.....	59
7.4.6	Relevance of test data and special observations	59
7.4.7	Reference documents.....	61
7.5	Japanese Ministry of Construction (JMC)	61
7.5.1	Summary.....	61
7.5.2	Purpose and principle.....	61
7.5.3	Test specimen	61
7.5.4	Test method	61
7.5.5	Repeatability and reproducibility.....	63
7.5.6	Relevance of test data and special observations	63
7.5.7	Reference documents.....	63
Annex A (informative)	Overview of toxicity test methods	65
Bibliography.....		67

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 CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Un rapport technique ne doit pas nécessairement être révisé avant que les données qu'il contient ne soient plus jugées valables ou utiles par le groupe de maintenance.

La CEI 60695-7-2, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/470/DTR	89/503/RVC

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

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

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

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

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

Technical reports do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful by the maintenance team.

IEC 60695-7-2, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

Enquiry draft	Report on voting
89/470/DTR	89/503/RVC

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

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

This document, which is purely informative, is not to be regarded as an International Standard.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 60695-7-2:2002

Withdrawing

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 60695-7-2:2002

Withdrawn

INTRODUCTION

La série CEI 60695-7 sert à guider les comités de produits CEI sur l'adoption et la mise en application des recommandations du TC 92 de l'ISO, en vue de la minimalisation des risques toxiques dus aux feux impliquant des produits électrotechniques.

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

Il convient que les comités de produits CEI incorporant des prescriptions pour l'évaluation des risques toxiques dans les normes de produits notent que le potentiel toxique et autres mesures de toxicité décrites dans le présent rapport technique ne seront pas utilisés directement dans les spécifications de produits. Les données provenant de méthodes d'essai de puissance toxique ne seront de préférence utilisées qu'en tant que partie d'une évaluation des risques toxiques, en conjonction avec d'autres données de réaction au feu basée sur le produit telles que le taux de perte de masse.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 60695-7-2:2002

INTRODUCTION

The IEC 60695-7 series provides guidance to IEC product committees on the adoption and implementation of the recommendations of ISO TC 92, for the minimization of toxic hazard from fires involving electrotechnical products.

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

IEC product committees incorporating requirements for the assessment of toxic hazard in product standards should note that toxic potency and other measurements of toxicity which are described in this technical report 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.

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

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

Le présent rapport technique fournit un bref résumé des méthodes d'essai qui sont d'un usage courant dans l'évaluation du potentiel toxique létal et pré-létal et autres essais de toxicité. 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 puissance toxique pertinentes pour les scénarios d'incendies réels, et quels sont ceux qui sont adaptés à l'utilisation dans l'évaluation des risques du feu et l'ingénierie de sécurité incendie.

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.

2 Références normatives

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

CEI 60695-7-1:1993, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7: Guide sur la minimalisation des risques toxiques dus à des feux impliquant des produits électrotechniques – Section 1: Généralités*

CEI/TS 60695-7-3:1998, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7-3: Toxicité de l'effluent du feu – Utilisation et préparation des résultats d'essai*

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

ISO/TR 9122-1:1989, *Essais de toxicité des effluents du feu – Partie 1: Généralités*

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

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60695, les définitions issues de l'ISO/CEI 13943 et de la CEI 60695-7-3 s'appliquent.

3.1

brûler

être en état de combustion

(ISO/CEI 13943, définition 10)

FIRE HAZARD TESTING –

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

1 Scope

This technical report gives a brief summary of the test methods that are in common use in the assessment of lethal and sublethal acute toxic potency, and other toxicity tests. 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 which is relevant to real fire scenarios, and which are suitable for use in fire hazard assessment and fire safety engineering.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications.

2 Normative references

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

IEC 60695-7-1:1993, *Fire hazard testing – Part 7: Guidance on the minimization of toxic hazards due to fires involving electrotechnical products – Section 1: General*

IEC/TS 60695-7-3:1998, *Fire hazard testing – Part 7-3: Toxicity of fire effluent – Use and interpretation of test results*

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

ISO/TR 9122-1:1989, *Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General*

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

3 Definitions

For the purposes of this part of IEC 60695, definitions taken from ISO/IEC 13943 and IEC 60695-7-3 apply.

3.1

burn

to undergo combustion

(ISO/IEC 13943, definition 10)

3.2

combustible

objet pouvant brûler

(ISO/CEI 13943, définition 22)

3.3

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

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

(ISO/CEI 13943, définition 23)

3.4

dose d'exposition

concentration en effluent du feu (C) multipliée par le temps d'exposition à l'effluent du feu (t). Généralement exprimé par « Ct », c'est une quantité dépendante du temps, car la concentration peut varier dans le temps

(CEI 60695-7-3:1998, définition 3.3)

3.5

effluents du feu

ensemble des gaz et/ou aérosols (incluant les particules en suspension) dégagés par combustion ou pyrolyse

(ISO/CEI 13943, définition 45)

3.6

danger du feu

possibilité de dommages causés par un feu aux personnes et aux biens

(ISO/CEI 13943, définition 48)

3.7

modèle feu

procédé ou processus ayant pour but de représenter, de prédire ou de reproduire une ou plusieurs étapes d'un feu, ou la transition entre deux étapes

(ISO/CEI 13943, définition 51)

3.8

scénario feu

description détaillée des conditions, y compris de l'environnement, dans lesquelles se déroulent une ou plusieurs étapes d'un feu réel à un emplacement spécifique ou d'une simulation dans un essai en vraie grandeur, depuis la situation avant le début jusqu'à la fin de la combustion

(ISO/CEI 13943, définition 58)

3.9

dose effective fractionnelle (DEF)

rapport entre la dose d'exposition (Ct) et la dose effective (ECt_{50}) pour le même effluent du feu

NOTE Quand $DEF = 1$, l'effet défini (incapacitation ou mort) est supposé intervenir.

(CEI 60695-7-3:1998, définition 3.4)

3.2**combustible**

item capable of combustion

(ISO/IEC 13943, definition 22)

3.3**combustion**

exothermic reaction of a substance with an oxidizer

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

(ISO/IEC 13943, definition 23)

3.4**exposure dose**

concentration of fire effluent (C) multiplied by time of exposure to the fire effluent (t). Generally noted as " Ct ", it is a time-dependent quantity, since the concentration can vary with time

(IEC 60695-7-3:1998, definition 3.3)

3.5**fire effluent**

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

(ISO/IEC 13943, definition 45)

3.6**fire hazard**

potential for injury and/or damage from fire

(ISO/IEC 13943, definition 48)

3.7**fire model**

procedure or process intended to represent, predict or reproduce one or more phases of a fire, or the transition between phases

(ISO/IEC 13943, definition 51)

3.8**fire scenario**

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

(ISO/IEC 13943, definition 58)

3.9**fractional effective dose (FED)**

ratio of the exposure dose (Ct) to the effective dose (EC_{t50}) for the same fire effluent

NOTE When $FED = 1$, the defined effect (incapacitation or death) is predicted to occur.

(IEC 60695-7-3:1998, definition 3.4)

3.10

feu développé

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

(ISO/CEI 13943, définition 80)

3.11

éclairage énergétique

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

NOTE Il est exprimé en watts par mètre carré.

(ISO/CEI 13943, définition 85)

3.12

source d'allumage

source d'énergie qui provoque une combustion

(ISO/CEI 13943, définition 97)

3.13

température d'allumage (minimale)

température (minimale) à partir de laquelle une combustion peut être maintenue dans des conditions d'essai spécifiées

NOTE 1 Elle est exprimée en degrés Celsius.

NOTE 2 La température minimale d'allumage se réfère à une contrainte thermique de durée infinie (valeur asymptotique).

Pour des raisons pratiques, il convient de mesurer la température soit sur le matériau, soit sur la source d'allumage, et il convient que la norme montre clairement l'endroit où est mesurée la température.

(ISO/CEI 13943, définition 98)

3.14

incapacitation

perte de moyen pour échapper à un feu

(CEI 60695-7-3:1998, définition 3.5)

3.15

irritant

toxique causant une irritation pulmonaire et/ou une irritation sensorielle

(ISO/CEI 13943, définition 107)

3.16

concentration létale (CL_{50})

concentration d'un gaz toxique, ou d'effluents du feu, calculée statistiquement à partir des données concentration-effet, qui entraîne la mort de 50 % d'une population d'animaux d'essai d'une espèce donnée dans des conditions spécifiées

NOTE Elle est exprimée en grammes par mètre cube.

(ISO/CEI 13943, définition 108)

3.17

dose létale d'exposition (LCt_{50})

résultat de la multiplication de la concentration d'un gaz toxique ou d'effluents du feu par le temps d'exposition (concentration $\times$ temps, Ct) qui entraîne la mort de 50 % d'une population d'animaux d'essai d'une espèce donnée, dans des conditions spécifiées

NOTE Elle est exprimée en grammes minutes par mètre cube.

(ISO/CEI 13943, définition 110)

3.10**fully developed fire**

state of total involvement of combustible materials in a fire
(ISO/IEC 13943, definition 80)

3.11**heat flux**

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

NOTE It is expressed in watts per square metre.

(ISO/IEC 13943, definition 85)

3.12**ignition source**

source of energy that initiates combustion

(ISO/IEC 13943, definition 97)

3.13**ignition temperature (minimum)**

(minimum) temperature at which combustion can be initiated under specific test conditions

NOTE 1 It is expressed in degrees Celsius.

NOTE 2 The minimum ignition temperature implies thermal stressing to infinite time.

For practical purposes, the temperature should be measured either on the material or the ignition source, and the standard should clearly show how and when the temperature is measured.

(ISO/IEC 13943, definition 98)

3.14**incapacitation**

loss of ability to escape from a fire

(IEC 60695-7-3:1998, definition 3.5)

3.15**irritant**

toxicant causing pulmonary irritancy and/or sensory irritancy

(ISO/IEC 13943, definition 107)

3.16**lethal concentration (LC_{50})**

concentration of toxic gas or fire effluent statistically calculated from concentration-response data to produce lethality in 50 % of test animals of a given species under specified conditions

NOTE It is expressed in grams per cubic metre.

(ISO/IEC 13943, definition 108)

3.17**lethal exposure dose (Lt_{50})**

result of the multiplication of the concentration of toxic gas or fire effluent, with the exposure time (concentration $\times$ time, Ct), causing lethality of 50 % of test animals of a given species under specified conditions

NOTE It is expressed in gram minutes per cubic metre.

(ISO/IEC 13943, definition 110)

3.18

concentration de perte de masse

masse du matériau décomposé divisée par le volume dans lequel les produits de décomposition volatils sont dispersés

(CEI 60695-7-3:1998, définition 3.7)

3.19

narcotique

toxique provoquant une narcose

(ISO/CEI 13943, définition 124)

3.20

décomposition thermique

processus où l'action de la chaleur ou de températures élevées sur un objet conduit à des changements de la composition chimique

NOTE Cette définition est différente de la dégradation thermique.

(ISO/CEI 13943, définition 163)

3.21

danger toxique

possibilité de lésions ou de perte de la vie par exposition à des toxiques, eu égard à leur potentiel toxique, leur quantité, leur concentration et la durée d'exposition

(ISO/CEI 13943, définition 168)

3.22

potentiel toxique

mesure de la quantité de toxique requise pour obtenir un effet toxique spécifique

NOTE Plus petite est la quantité requise, plus grande est la puissance toxique.

(ISO/CEI 13943, définition 169)

3.23

toxique

substance provoquant un effet nuisible sur un organisme vivant

(ISO/CEI 13943, définition 171)

3.24

toxicité

capacité d'une substance de produire des effets nuisibles sur un organisme vivant

(ISO/CEI 13943, définition 172)

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 résultats d'essais utilisés comme données pour évaluer les risques toxiques et les risques du feu, ou aux calculs d'ingénierie de sécurité incendie.

Ces essais sont souvent interprétés comme fournissant des résultats qui constituent une indication directe de la toxicité ou du risque toxique lié au matériau ou au produit. Or, de telles interprétations ne sont pas valables - contrairement aux lignes directrices données dans l'ISO/TR 9122-1 et dans la CEI 60695-7-1 - et risquent de mener à des suppositions incorrectes sur la contribution d'un matériau ou d'un produit donné au risque toxique.

3.18**mass loss concentration**

mass of material decomposed divided by the volume into which the volatile decomposition products are dispersed

(IEC 60695-7-3:1998, definition 3.7)

3.19**narcotic**

toxicant causing narcosis

(ISO/IEC 13943, definition 124)

3.20**thermal decomposition**

process whereby the action of heat or elevated temperature on an item causes changes to the chemical composition

NOTE This is different from thermal degradation.

(ISO/IEC 13943, definition 163)

3.21**toxic hazard**

potential for injury or loss of life by exposure to toxicants with respect to their potency, quantity, concentration and duration of exposure

(ISO/IEC 13943, definition 168)

3.22**toxic potency**

measure of the amount of toxicant required to elicit a specific toxic effect

NOTE The smaller the amount required, the greater the toxic potency.

(ISO/IEC 13943, definition 169)

3.23**toxicant**

substance which causes an adverse effect upon a living organism

(ISO/IEC 13943, definition 171)

3.24**toxicity**

ability of a substance to produce adverse effect upon a living organism

(ISO/IEC 13943, definition 172)

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 as an input to toxic hazard assessments, fire hazard assessments, or fire safety engineering calculations.

These tests are often interpreted as giving data which is a direct indication of the toxicity or toxic hazard associated with a material or product. Such interpretations are however invalid, contrary to the guidance given in ISO/TR 9122-1, and IEC 60695-7-1, and likely to lead to incorrect assumptions about the contribution of a given material or product to toxic hazard.

Par conséquent, les résultats issus des essais de toxicité à petite échelle ne doivent pas être utilisés directement dans des spécifications de produits ou pour suggérer tout niveau de risque lorsqu'ils sont pris de façon isolés.

4.2 Potentiel toxique

Le terme de « puissance toxique » est un terme spécifique de la science du feu. Il s'agit de la mesure de la quantité de produits toxiques nécessaire pour révéler un effet toxique spécifique. Une puissance toxique spécifique communément utilisée est la dose d'exposition qui provoque la mort de 50 % des organismes exposés. Sa désignation est le LCt_{50} .

La dose d'exposition du $i^{\text{ème}}$ composant toxique, $[D]_i$, 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 de volume du $i^{\text{ème}}$ composant toxique est constante dans le temps,

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

où

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

X_i est le rendement en volume du $i^{\text{ème}}$ composant toxique provenant d'un essai de puissance toxique;

D_m est l'intégrale de concentration 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.

NOTE La fraction de volume d'un gaz toxique peut être calculée en divisant la concentration du gaz par sa densité.

Dans les deux cas, la dose d'exposition a des unités de fraction de volume $\times$ temps, par exemple min.

Dans certains cas, m/V , désigné sous le nom de "concentration de perte de masse", est utilisé au lieu de la fraction de volume, auquel cas la dose d'exposition a des unités de concentration $\times$ temps, par exemple, $\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$.

Supposons qu'une exposition de 30 min à une concentration de perte de masse de $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ cause l'effet défini, alors le potentiel toxique du matériau est de $600 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$. Ce qui signifie que, par exemple, une exposition de 10 min à une concentration de perte de masse de $60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ est supposée causer l'effet défini. De la même façon, une exposition de 20 min à une concentration de perte de masse de $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ est également supposée causer le même effet défini.

Le potentiel toxique de l'effluent du feu d'un matériau donné varie en fonction du modèle 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 avant en 5.1.

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

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 which is commonly used is the exposure dose which causes the death of 50 % of exposed organisms. This is known as the LCt_{50} .

The exposure dose of the i^{th} toxic component, $[D]_i$ 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.

NOTE The volume fraction of a toxic gas can be calculated by dividing the concentration of the gas by its density.

In both cases the exposure dose has units of volume fraction $\times$ 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 $\times$ time, e.g. $\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$.

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 $600 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$. This means that, for example, an exposure of 10 min to a mass loss concentration of $60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ is assumed to cause the defined effect. Similarly, an exposure of 20 min to a mass loss concentration of $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 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 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 Dose effective fractionnelle (DEF) et risque toxique

Le potentiel toxique est seulement l'un des facteurs qui déterminent le risque toxique encouru dans tout scénario incendie donné, dans le sens où il définit l'effet toxique causé par l'effluent du feu, exprimé en poids unitaire de perte de masse. Pour estimer le risque toxique encouru par un produit particulier dans un scénario donné, il est également important d'avoir les données qui définissent la quantité d'effluent 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 risque 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 pouvoir toxique élevé et vitesse de perte de masse du produit final faible pourrait causer un risque toxique similaire au matériau à puissance toxique faible et vitesse de perte de masse du produit final élevée.

4.4 Potentiel toxique normal

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

C'est pourquoi, pour les besoins d'une évaluation de danger toxique initiale de tout scénario incendie, il est recommandé de supposer une puissance toxique générique de $500 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ pour tous les matériaux. La validité de l'hypothèse d'une puissance toxique générique peut alors être évaluée en répétant l'évaluation, en utilisant des valeurs de puissance toxique de 50 % et 200 % de la valeur générique supposée. Si les valeurs de puissance toxique alternatives modifient de manière significative le résultat de l'évaluation, des données de puissance toxique encore plus précises peuvent être nécessaires.

5 Aspects généraux des essais de toxicité à petite échelle

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

- les conditions de décomposition (modèle feu), qui doivent de préférence être 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 doit être en mesure de relier l'effet toxique ou les concentrations observé(es) à la perte de masse du matériau en essai.

5.1 Modèle feu

L'effluent du feu d'un matériau en combustion ne possède pas une seule puissance toxique.

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 la puissance toxique.

4.3 Fractional Effective Dose (*FED*) and toxic hazard

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 weight 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 defines 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.

4.4 Normal 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 is recommended that a generic toxic potency of $500 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ is assumed for all materials. 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

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

- decomposition conditions (the 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
- 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.

5.1 Fire model

The fire effluent from a burning material does not have a single toxic potency.

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.

Ces variables ont un effet critique parce qu'elles affectent l'efficacité de la conversion du carbone en oxydes de carbone (monoxyde ou dioxyde de carbone, rapport CO_2/CO). Un rapport CO_2/CO faible indique une proportion supérieure de CO , qui aboutit à une valeur inférieure de la puissance toxique (c'est-à-dire plus toxique).

Il est crucial de montrer que les conditions d'essai définies dans une méthode d'essai normalisée (le modèle feu) sont pertinentes pour la phase désirée d'un incendie réel et peuvent la reproduire. L'ISO a publié une classification générale des phases du feu dans l'ISO/TR 9122-1, comme le montre le tableau 1. Les facteurs importants affectant le potentiel toxique de l'effluent du feu sont la concentration en oxygène et l'éclairement énergétique/la température.

Tableau 1 – Classification générale des feux selon ISO/TR 9122-1

Stades de feu		Volume d'oxygène ^a %	Rapport CO_2/CO ^b	Température ^a °C	Irradiance ^c kW·m ⁻²
Phase 1	Décomposition sans flammes				
	a) Feux couvants (auto-entretenus)	21	Non applicable	< 100	Non applicable
	b) Sans flammes (par oxydation)	5 à 21	Non applicable	< 500	< 25
	c) Sans flammes (par pyrolyse)	< 5	Non applicable	< 1 000	Non applicable
Phase 2	Feu en cours de développement (avec flammes)	10 à 15	100 à 200	400 à 600	20 à 40
Phase 3	Feu pleinement développé (avec flammes)				
	a) Ventilation relativement faible	1 à 5	< 10	600 à 900	40 à 70
	b) Ventilation relativement forte	5 à 10	< 100	600 à 1 200	50 à 150

^a Situation générale de l'environnement (moyenne) à l'intérieur du local.
^b Valeur moyenne dans la « plume » du feu près du feu.
^c Irradiance incidente sur l'éprouvette d'essai (moyenne).

5.2 Approche analytique – 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 sur le potentiel toxique des gaz individuels et le manque d'appréciation du rôle de la ventilation et de la température de décomposition.

Les travaux des années soixante-dix et du début des années quatre-vingts étaient axés sur les essais effectués avec des animaux, en se fondant sur le fait qu'une complète compréhension des interactions potentielles entre les composants individuels de l'effluent du feu et de la présence éventuelle de produits présentant une toxicité spécifique inhabituellement élevée pourrait seulement être déterminée par une 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 inhabituellement élevée dans les effluents du feu. Les puissances toxiques des effluents du feu provenant de la plupart des matériaux se sont révélées être dans un ordre de grandeur de un et demi.

These variables have a critical effect because they 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 CO, 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 fire model) are relevant to, and replicate, the desired stage of a real fire. ISO has published a general classification of fire stages in ISO/TR 9122-1, as shown in table 1. The important factors affecting the toxic potency of fire effluent are oxygen concentration and irradiance/temperature.

Table 1 – General classification of fire stages in accordance with ISO/TR 9122-1

Stages of fire		Oxygen ^a %	Ratio CO_2/CO ^b	Temperature ^a °C	Irradiance ^c $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$
Stage 1	Non-flaming decomposition				
	a) Smouldering (self-sustained)	21	Not applicable	< 100	Not applicable
	b) Non-flaming (oxidative)	5 to 21	Not applicable	< 500	< 25
	c) Non-flaming (pyrolytic)	< 5	Not applicable	< 1 000	Not applicable
Stage 2	Developing fire (flaming)	10 to 15	100 to 200	400 to 600	20 to 40
Stage 3	Fully developed fire (flaming)				
	a) Relatively low ventilation	1 to 5	< 10	600 to 900	40 to 70
	b) Relatively high ventilation	5 to 10	< 100	600 to 1 200	50 to 150
^a General environmental condition (average) within compartment. ^b Mean value in fire plume near to fire. ^c Incident irradiance on to test specimen (average).					

5.2 Analytical approach – General

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

Work in the 1970's and early 1980's 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 is 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.

Il est possible de calculer les puissances toxiques des mélanges de gaz du feu de façon raisonnablement précise, en se fondant sur les résultats des analyses chimiques et les données toxicologiques déjà disponibles à partir des essais sur animaux. On évite ainsi la nécessité d'utiliser des animaux dans les mesures périodiques de la puissance toxique, bien que l'on reconnaisse qu'une utilisation limitée d'essais sur animaux puisse être nécessaire lorsque les données toxicologiques de base pour un effluent du feu particulier ne sont pas disponibles.

5.2.1 Méthodes fondées sur une analyse chimique

Les méthodes fondées sur une analyse chimique utilisent des techniques analytiques de laboratoire conventionnelles pour mesurer soit statistiquement soit dynamiquement les concentrations de divers gaz dans les effluents du feu produits par le modèle feu.

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

- a) l'éventail des espèces d'effluents sélectionnés pour l'analyse doit être assez large pour englober les espèces dont on pourrait prévoir raisonnablement le dégagement, sur la base de la connaissance de la composition du matériau en essai.
Dans tous les cas, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone et l'oxygène doivent être mesurés;
- 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 concentration par perte d'unité de masse de l'éprouvette d'essai;
- c) les concentrations de gaz et la perte de masse mesurées peuvent être converties en une valeur de puissance toxique. Voir la CEI 60695-7-3 pour une méthode de calcul.

5.2.2 Méthodes fondées sur l'exposition d'animaux

Il n'est pas envisagé de poursuivre les travaux sur des méthodes fondées sur des essais effectués avec des animaux.

6 Résumé de méthodes d'essais fondées sur les analyses chimiques publiées

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

Les méthodes d'essai fondées sur l'analyse chimique examinées dans cet 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.

6.1 Ministère de la Défense du Royaume Uni – Defence Standard (DS)

6.1.1 Résumé

L'essai décrit dans la DS 02-713 [1]¹ explore la toxicité des produits de combustion en termes de petites espèces moléculaires survenant lorsqu'un petit échantillon de matériau est complètement brûlé sous excès d'air dans des conditions spécifiées.

¹ Les chiffres entre crochets se rapportent à la bibliographie.

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 is not available.

5.2.1 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 fire model.

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

- a) the effluent species selected for analysis shall 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 shall be measured;
- b) there must 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 concentration per unit mass loss of test specimen;
- c) the measured gas concentrations and mass loss can be converted into a toxic potency value. See IEC 60695-7-3 for a calculation method.

5.2.2 Methods based on animal exposure

It is not envisaged conducting any further work on methods based on animal testing.

6 Summary of published chemical analysis based test methods

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.

6.1 UK Ministry of Defence – Defence Standard (DS)

6.1.1 Summary

The test described in DS 02-713 [1]¹ 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.

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

6.1.2 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 de volume) de chaque gaz pour provoquer la mort dans un intervalle de base de 30 min, pour en tirer l'indice de toxicité combiné.

6.1.3 Éprouvette d'essai

Un nombre suffisant d'éprouvettes d'essai (normalement trois) doit être découpé du matériau en essai. La masse de l'éprouvette d'essai doit être 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.

6.1.4 Méthode d'essai

L'appareillage est une enceinte 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 munie d'un support permettant de la loger dans les limites de flamme. La combustion est maintenue pour s'assurer de 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 d'homogénéisation est mis en marche; il est ensuite éteint et les gaz sont prélevés. Les essais pour les halogènes contenant du gaz sont effectués en premier. Les gaz analysés sont les suivants: CO, CO₂, H₂S, NH₃, formaldéhydes, HCl, acrylonitrile, S O₂, NO_x, phénol, HCN, HBr, HF, 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 considéré pendant une durée d'exposition de 30 min comme l'indique le tableau 2;

C_{θ} est la fraction de volume de chaque gaz produit lorsque l'on brûle 100 g de matériau et que les produits de combustion sont diffusés dans 1 m³ d'air.

6.1.2 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 the combined toxicity index.

6.1.3 Test specimen

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

6.1.4 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 bunsen 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: CO, CO₂, H₂S, NH₃, formaldehyde, HCl, acrylonitrile, SO₂, NO_x, phenol, HCN, HBr, HF, 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 diffused in 1 m³ of air.

Tableau 2 – Valeurs de C_f extraites de la DS 02-713 pour divers gaz

Gaz	Valeur de $C_f \times 10^6$
Dioxyde de carbone	100 000
Monoxyde de carbone	4 000
Sulfure d'hydrogène	750
Ammoniac	750
Formaldéhyde	500
Chlorure d'hydrogène	500
Acrylonitrile	400
Dioxyde de soufre	400
Oxydes d'azote	250
Phénol	250
Cyanure d'hydrogène	150
Bromure d'hydrogène	150
Fluorure d'hydrogène	100
Phosgène	25

6.1.5 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.

6.1.6 Pertinence des données d'essai et observations particulières

Cette méthode d'essai est à présent largement critiquée (voir l'article 4 de l'ISO/TR 9122-4) [2]:

- la combinaison des conditions de ventilation et de température de la flamme signifie que le modèle feu utilisé dans cette méthode ne correspond à aucune des phases de feu décrites 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 risques toxiques.

Globalement, cette méthode n'est pas recommandée en tant que fondement pour un développement supplémentaire concernant des produits de l'électrotechnique. Il convient de ne pas l'utiliser comme base pour une régulation ou autres contrôles sur les risques toxiques pour les produits de l'électrotechnique, du fait des limites sur le modèle 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 risques toxiques, les évaluations de risques du feu ou les calculs de techniques de sécurité incendie.

Table 2 – C_f values taken from DS 02-713 for various gases

Gas	C_f value $\times 10^6$
Carbon dioxide	100 000
Carbon monoxide	4 000
Hydrogen sulphide	750
Ammonia	750
Formaldehyde	500
Hydrogen chloride	500
Acrylonitrile	400
Sulphur dioxide	400
Nitrogen oxides	250
Phenol	250
Hydrogen cyanide	150
Hydrogen bromide	150
Hydrogen fluoride	100
Phosgene	25

6.1.5 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.

6.1.6 Relevance of test data and special observations

This test method is now widely criticized (see clause 4 of ISO/TR 9122-4) [2]:

- the combination of flame temperature and ventilation conditions mean that the fire model used in this method does not correspond to any of the fire stages 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, due to the limitations on fire model, calculation method and format of final data. The data from this test should not be used as the input to toxic hazard assessments, fire hazard assessments or fire safety engineering calculations.

6.1.7 Document de référence

DS 02-713 [1]

6.2 Airbus Industrie

6.2.1 Résumé

Airbus ABD 0031 [3] (qui remplace ATS 1000.001) 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 prescriptions de la Toxicité des Fumées d'Incendie (FST) et des méthodes d'essai applicables. Les éléments suivants se rapportent uniquement aux prescriptions de toxicité.

6.2.2 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, doivent être soumis à l'essai décrit en 6.2.4.

6.2.3 Éprouvette d'essai

Cette méthode d'essai utilise les mêmes éprouvettes d'essai du point de vue des dimensions que celles qui sont décrites dans la CEI 60695-6-30 [4], c'est-à-dire 76,2 mm × 76,2 mm × l'épaisseur d'installation prévue.

6.2.4 Méthode d'essai

L'essai doit être 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) conformément à l'ASTM E-662 [5].

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.

Un minimum de deux éprouvettes d'essai doit être soumis 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 on doit démontrer par essais de comparaison que l'on obtient des résultats équivalents.

Les fractions de volume observées des gaz suivants sont comparées par rapport aux limites de spécification. La moyenne des fractions de volume des composants de gaz de la fumée ne doit pas dépasser 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.

6.1.7 Reference document

DS 02-713 [1]

6.2 Airbus industry

6.2.1 Summary

Airbus ABD 0031 [3] (which supersedes ATS 1000.001) 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.

6.2.2 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, shall be tested as described in 6.2.4.

6.2.3 Test specimen

This test method uses the same size test specimens as described in IEC 60695-6-30 [4], i.e. 76,2 mm × 76,2 mm × the intended installation thickness.

6.2.4 Test method

The test shall be performed in combination with (not simultaneously) the smoke density test in the NBS (National Bureau of Standards) smoke chamber according to ASTM E-662 [5].

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

A minimum of two test specimens shall be 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 shall 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 shall 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.

Tableau 3 – Limites de fraction de volume pour composants de gaz

Composants de gaz	Limite de fraction de volume $\times 10^6$
Fluorure d'hydrogène	100
Chlorure d'hydrogène	150
Cyanure d'hydrogène	150
Dioxyde de soufre	100
Gaz nitreux	100
Monoxyde de carbone	3 500

6.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

6.2.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les conditions de feu et de ventilation ne permettent pas une comparaison entre ce modèle feu et aucune des phases du feu décrites dans le tableau 1.

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

6.2.7 Documents de référence

ASTM E-662 [5]

AITM 2.0007 [6]

AITM 2.0008 [7]

AITM 3.0005 [8]

6.3 Comité Électrotechnique Italien (CEI)

6.3.1 Résumé

L'essai décrit dans la CEI 20-37/7 [9] 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.

6.3.2 But et principe

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

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

6.3.3 Éprouvette d'essai

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

6.3.4 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 $120\text{ l}\cdot\text{h}^{-1} \pm 5\text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ passe à travers le tube et sur l'éprouvette d'essai.

Table 3 – Volume fraction limits for gas components

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

6.2.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.2.6 Relevance of test data and special observations

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

Only a limited number of gas components is considered.

6.2.7 Reference documents

ASTM E-662 [5]

AITM 2.0007 [6]

AITM 2.0008 [7]

AITM 3.0005 [8]

6.3 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)**6.3.1 Summary**

The test described in CEI 20-37/7 [9] 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.

6.3.2 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.

6.3.3 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.

6.3.4 Test method

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

L'effluent du feu est absorbé dans des flacons de lavage, et est collecté dans une poche à gaz.

Les gaz analysés sont les suivants: monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, dioxyde de soufre, aldéhyde formique, ammoniac, acide cyanhydrique, 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.

6.3.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

6.3.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les conditions de température d'essai et de ventilation dans cette méthode signifient que le modèle feu ne correspond à aucune des phases de feu décrites dans le tableau 1. Cependant, avec des modifications apportées soit à la température d'essai soit au débit d'air, le modèle feu pourrait être réalisé pour reproduire les phases du feu 2 ou 3(b) respectivement.

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

6.3.7 Document de référence

CEI 20-37/7 [9]

6.4 Norme Française (NF)

6.4.1 Résumé

L'essai décrit dans la NF C 20-454 [10] est utilisé pour la détermination d'un indice de toxicité des gaz émis pendant la combustion des matériaux dans des applications de l'électrotechnique.

6.4.2 But et principe

Cet essai mesure et quantifie 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, cyanure d'hydrogène et dioxyde de soufre.

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 placée dans une nacelle en porcelaine à l'intérieur d'un tube à combustion en quartz placé dans un ensemble de four tubulaire régulé à 800 °C. On fait passer un débit d'air de $120 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1} \pm 5 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ à travers le tube, sur l'éprouvette d'essai, et dans les analyseurs de CO et CO₂, ou dans des flacons de lavage contenant de l'eau distillée ou déminéralisée (ou d'autres solutions appropriées) pour dissoudre les gaz. L'effluent du feu est analysé par

The fire effluent is absorbed in wash bottles, and collected in a gas bag.

The gases monitored include: carbon monoxide, carbon dioxide, sulphur dioxide, formic aldehyde, ammonia, cyanidric acid, 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.

6.3.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.3.6 Relevance of test data and special observations

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

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

6.3.7 Reference documents

CEI 20-37/7 [9]

6.4 Norme Française (NF)

6.4.1 Summary

The test described in NF C 20-454 [10] is used for the determination of a toxicity index of gases evolved during the combustion of materials in electrotechnical applications.

6.4.2 Purpose and principle

This test measures and quantifies 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 cyanide and sulphur dioxide.

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 placed in a porcelain boat inside a quartz combustion tube and introduced into an annular furnace set at 800 °C. An air flow of $120 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1} \pm 5 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ is passed through the tube, over the test specimen, and into analyzers for CO and CO₂, or into wash bottles containing distilled or demineralized water (or other appropriate solutions) to dissolve the gases. The fire effluent is analyzed by

- a) potentiométrie, pour le chlorure d'hydrogène et le bromure d'hydrogène;
- b) colorimétrie, pour le fluorure d'hydrogène, les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre; et
- c) infrarouge pour le monoxyde de carbone et le dioxyde de carbone.

6.4.5 Répétabilité et reproductibilité

Un essai interlaboratoire (voir 8.2.6.5 de la NF C20-454 [10]) a été effectué en 1983, et consigné comme suit:

- CO, CO₂ : ± 40 %;
- HCl : ± 20 %;
- HF : (à l'étude)

6.4.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

La température d'essai et les conditions de ventilation dans cette méthode signifient que le modèle feu ne correspond à aucune des phases de feu décrites dans le tableau 1. Cependant, avec des modifications apportées soit à la température d'essai soit au débit d'air, le modèle feu pourrait être réalisé pour reproduire des phases du feu 2 ou 3(b) respectivement, comme l'indique 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 puissance toxique.

6.4.7 Document de référence

NF C 20-454 [10]

6.5 Commission Électrotechnique Internationale (CEI)

6.5.1 Résumé

La CEI 60695-7-50 [11] décrit la production d'effluent du feu et l'identification, et la mesure de ses produits de combustion constitutifs. Cette méthode d'essai utilise une éprouvette d'essai mobile et un four tubulaire à différentes températures et débits d'air comme le modèle feu. Cette méthode est conçue pour reproduire certaines conditions de décomposition dans une gamme de types de feu telle que caractérisée dans le tableau 1.

Cette méthode d'essai est conçue pour modéliser étroitement l'ensemble de ces trois phases majeures, et a aussi le potentiel d'en modéliser d'autres si nécessaire. Dans cet essai, la mesure de l'effluent du feu est réalisée au moyen d'éprouvettes d'essai qui ont été prélevées à partir de produits finis, ou, si l'appareillage et la méthode le permettent, le produit fini lui-même.

6.5.2 But et principe

La méthode d'essai décrite est fondée sur le même concept que la méthode de DIN 53436-1 [12]. Le tubulaire four et le type de tube en quartz sélectionnés sont ceux qui sont couramment spécifiés par la CEI 60754-2 [13] qui donne une performance connue dans des conditions d'essai et qui est largement disponible.

Dans cette méthode d'essai, une éprouvette de matériau sous la forme d'une bande coupée en petits morceaux est introduite dans un tube en quartz à vitesse constante, et un courant d'air primaire est envoyé à travers le tube en quartz sur l'éprouvette d'essai pour supporter la combustion. L'effluent est expulsé du tube en quartz dans une chambre de mélange et de mesure où il est dilué à de l'air secondaire. L'effluent est ensuite analysé et évacué.

- a) potentiometry, for hydrogen chloride and hydrogen bromide;
- b) colorimetry, for hydrogen fluoride, nitrogen oxides and sulphur dioxide; and
- c) infra-red for carbon monoxide and carbon dioxide.

6.4.5 Repeatability and reproducibility

A round robin test (see 8.2.6.5 of NF C20-454 [10]) was carried out in 1983, and recorded the following:

- CO, CO₂ : ± 40 %;
- HCl : ± 20 %;
- HF : (under consideration)

6.4.6 Relevance of test data and special observations

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

6.4.7 Reference documents

NF C 20-454 [10]

6.5 International Electrotechnical Commission (IEC)

6.5.1 Summary

IEC 60695-7-50 [11] describes the generation of fire effluent and the identification and measurement of its constituent combustion products. This test method uses a moving test specimen and a tube furnace at different temperatures and air flow rates as does the fire model. The method is designed to reproduce certain decomposition conditions in a range of fire types as characterized in table 1.

This test method is designed to model closely all three of these major fire stages, and also has the potential to model others, as necessary. In this test, the measurement of fire effluent is made using test specimens which may be taken from end-products, or, if the apparatus and method allows, may be an end-product.

6.5.2 Purpose and principle

The test method described is based upon the same concept as the DIN 53436-1 [12] method. The types of tube furnace and quartz furnace tube selected are those currently specified by IEC 60754-2 [13] which gives a known performance under the conditions of test and is widely available.

In this test method, a test specimen of material in the form of a strip, broken up in small pieces, is introduced into a quartz furnace tube at a constant rate, and a current of primary air is passed through the quartz furnace tube over the test specimen to support combustion. The effluent is expelled from the quartz furnace tube into a mixing and measurement chamber where it is diluted with secondary air. The effluent is then analyzed and evacuated.

Les conditions de décomposition dans le tube en quartz sont réglées en utilisant différentes combinaisons de températures et de débits d'air primaire en passages séparés, pour modéliser la condition de décomposition dans une gamme de phases du feu, ainsi que le caractérise le tableau 1 ou comme prescrit.

6.5.3 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 10 g répartie sur 400 mm ($25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$).

Cependant, dans tous les cas il est essentiel que la répartition uniforme de l'éprouvette d'essai soit maintenue et la charge de combustible par unité de longueur soit connue de sorte que la vitesse de décomposition puisse être déterminée.

6.5.4 Méthode d'essai

Il convient de soumettre à l'essai chaque matériau selon l'ensemble suivant de conditions de décomposition:

Tableau 4 – Conditions de décomposition

Phase du feu		T max °C	Air primaire l/min
1b	Décomposition sans flamme (par oxydation)	350	1,1
2	Feu se développant (avec flammes)	650	22,6
3a	Feu pleinement développé (avec flammes), ventilation relativement faible	825	2,7

La température du four est élevée à la température désirée avec le débit d'air primaire désiré. Il convient que l'air primaire soit propre et sec (humidité relative inférieure à 1 % à 25 °C). L'éprouvette est répartie uniformément le long de la nacelle et la nacelle est introduite dans le tube en quartz de sorte que l'extrémité avant soit à 50 mm de l'extrémité d'arrivée d'air à l'entrée du four. Le débit secondaire prescrit est réglé pour donner un débit total à travers la chambre de mixage de $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Les équipements d'échantillonnage et de mesure sont étalonnés et l'expérience commence. On déplace l'éprouvette d'essai dans le tube en quartz à une vitesse de $40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

6.5.5 Prélèvements d'effluent

Les échantillons pour l'analyse sont prélevés en continue dans la chambre à un débit de $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \pm 0,05 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ et sont dirigés sur un agent de séchage et un système de filtre à fumée, à travers les analyseurs appropriés, et les résultats sont enregistrés en continu ainsi que la densité optique de fumée qui reste une option. Pour les expériences de combustion avec flammes, des observations sont effectuées au niveau du tube en quartz pour déterminer le moment où survient l'allumage ou pour s'assurer que la combustion avec flammes est absente pendant les expériences réalisées en l'absence de flammes. La condition du feu peut être également vérifiée à partir des mesures de gaz et de fumée. Les sorties des moniteurs de gaz et de fumée sont observées au cours des premières phases de l'essai.

Lorsque ces sorties ont atteint des niveaux constants, les conditions de régime dynamique ont été atteintes. Les conditions de décomposition doivent de préférence rester constantes pendant un minimum de 10 min pour permettre de caractériser le comportement de décomposition de l'éprouvette d'essai et les rendements de produit toxique.

The decomposition conditions in the quartz furnace tube are set using different combinations of temperature and primary air flow rate in separate runs, to model the decomposition condition in a range of fire stages as characterized in table 1, or as required.

6.5.3 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 10 g spread over 400 mm ($25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}$).

In all cases, however, it is essential that the uniform distribution of the test specimen be maintained and the combustible loading per unit length be known so that the rate of decomposition can be determined.

6.5.4 Test method

Each material should be tested under the following set of decomposition conditions:

Table 4 – Decomposition conditions

Stage of fire		T_{max} °C	Primary air l/min
1b	Non-flaming decomposition (oxidative)	350	1,1
2	Developing fire (flaming)	650	22,6
3a	Fully developed fire (flaming), relatively low ventilation	825	2,7

The furnace temperature is raised to the desired temperature at the desired primary air flow rate. The primary air should be clean and dry (relative humidity less than 1 % at 25 °C). The test specimen is spread uniformly along the combustion boat and the combustion boat is introduced into the quartz furnace tube so that the front end is 50 mm from the air inlet end of the tube furnace entrance. The required secondary air flow is set to give a total flow rate through the mixing chamber of $50 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. The sampling and measurement equipment are calibrated, and the experimental run is started. The test specimen is moved through the quartz furnace tube at a rate of $40 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

6.5.5 Sampling of effluent

Samples for analytical measurement are taken continuously from the chamber at a flow rate of $2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1} \pm 0,05 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ through a drying agent and a smoke filtration system, through the appropriate analyzers, and the results recorded continuously together with the optional smoke optical density. For experiments with flames, observations are made down the quartz furnace tube to determine when ignition occurs, or to ensure that flaming is absent during non-flaming experiments. The fire condition can also be verified from the gas and smoke measurements. The outputs from the gas and smoke monitors are observed during the early stages of the run.

When these have reached constant levels, then dynamic steady state conditions have been achieved. The decomposition conditions shall remain steady for a minimum of 10 min to enable the test specimen decomposition behaviour and toxic product yields to be characterized.

6.5.6 Répétabilité et reproductibilité

Au moment de la publication, cet essai était nouveau et de ce fait aucune donnée n'est disponible.

6.5.7 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Les résultats de cette méthode d'essai peuvent être utilisés pour estimer le potentiel toxique fondée sur le principe de dose effective fractionnelle (*DEF*) décrit dans la CEI 60695-7-51 [14].

6.5.8 Documents de référence

CEI 60695-7-50 [11]

DIN 53436-1 [12]

CEI 60754-2 [13]

CEI 60695-7-51 [14]

6.6 Organisme Maritime International (OMI)

6.6.1 Résumé

L'essai de production de fumée du code de l'OMI FTP [15] doit être réalisé conformément à l'ISO 5659-2 [16]. La toxicité et la densité des fumées sont mesurées pendant cet essai.

6.6.2 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 prescriptions 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) adoptée par l'OMI en tant que résolution MSC 61 (67) en 1996. Pour l'analyse chimique de l'effluent du feu, un analyseur infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) ou une autre méthode d'analyse est recommandée.

6.6.3 Éprouvette d'essai

Les dimensions de l'éprouvette d'essai sont 75 mm × 75 mm comme spécifiées dans l'ISO 5659-2 [16].

6.6.4 Méthode d'essai

Cette méthode d'essai est effectuée généralement conformément à l'ISO 5659-2 [16]. 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 doivent être 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 de volume de gaz et les valeurs maximales sont données:

6.5.6 Repeatability and reproducibility

At the time of publication this test was new and, therefore, no data are available.

6.5.7 Relevance of test data and special observations

Results of this test method can be used to estimate toxic potency based on the fractional effective dose (*FED*) principle as described in IEC 60695-7-51 [14].

6.5.8 Reference documents

IEC 60695-7-50 [11]

DIN 53436-1 [12]

IEC 60754-2 [13]

IEC 60695-7-51 [14]

6.6 International Maritime Organization (IMO)

6.6.1 Summary

The IMO FTP [15] code smoke generation test shall be conducted in accordance with ISO 5659-2 [16]. Both smoke density and toxicity are measured during this test.

6.6.2 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 61 (67) in 1996. For the chemical analysis of fire effluent, FTIR or another traceable analysis method is recommended.

6.6.3 Test specimen

The dimensions of the test specimen are 75 mm × 75 mm, as specified in ISO 5659-2 [16].

6.6.4 Test method

This test method is generally carried out in accordance with ISO 5659-2 [16]. 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 shall be tested as follows:

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

The results are expressed as gas volume fractions and maximum values are given:

Tableau 5 – Limites de fraction de volume pour composants de gaz

Composants de gaz	Limite de fraction de volume $\times 10^6$
Monoxyde de carbone	1 450
Chlorure d'hydrogène	600
Dioxyde de soufre	120
Oxydes d'azote	350
Cyanure d'hydrogène	140
Bromure d'hydrogène	600
Fluorure d'hydrogène	600

6.6.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

6.6.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Modèle feu limité. Les méthodes d'analyse chimique sont susceptibles d'erreurs et d'interférences. Les gaz du feu passent à travers le dispositif chauffant conique et peuvent s'accumuler dans la partie supérieure de l'enceinte étant donné que l'on n'utilise pas de ventilateur pour le brassage.

6.6.7 Documents de référence

OMI FTP Code [15]

ISO 5659-2 [16]

7 Résumé des méthodes d'essai publiées fondées sur l'exposition d'animaux

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

7.1 Deutsches Institut für Normung (DIN)

7.1.1 Résumé

La méthode d'essai décrite dans la série de normes DIN 53436 [12] [18] 19] sert à décomposer thermiquement les matériaux solides et liquides dans des conditions définies dans un courant d'air, et d'évaluer la toxicité relative aiguë par l'inhalation de ces produits de décomposition thermiques.

7.1.2 But et principe

Cette méthode d'essai est utilisée pour la production des produits de décomposition thermique à partir des matériaux dans un courant d'air et pour la détermination de la toxicité par inhalation des produits de décomposition et de combustion.

7.1.3 Éprouvette d'essai

Les éprouvettes d'essai sont des bandes de 400 mm $\times$ 15 mm $\times$ 2 mm.

Si la densité est inférieure à 400 kg.m⁻³, l'épaisseur de l'éprouvette d'essai est mesurée de sorte que la masse liée à la longueur (g.cm⁻¹) soit égale à celle d'un matériau d'une densité de 400 kg.m⁻³.

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
Nitrogen oxides	350
Hydrogen cyanide	140
Hydrogen bromide	600
Hydrogen fluoride	600

6.6.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

6.6.6 Relevance of test data and special observations

Limited fire model. Chemical analysis methods are susceptible to error and interference. Fire gases pass through the conical heater and may accumulate in the upper part of the cabinet since fan stirring is not used.

6.6.7 Reference documents

IMO FTP Code [15]

ISO 5659-2 [16]

7 Summary of published test methods relating to animal exposure

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

7.1 Deutsches Institut für Normung (DIN)**7.1.1 Summary**

The test method described in the DIN 53436 series of standards [12] [18] [19] 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.

7.1.2 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.

7.1.3 Test specimen

Strip-like test specimens measuring 400 mm $\times$ 15 mm $\times$ 2 mm are used.

If the density is less than 400 kg·m⁻³, the thickness of the test specimen is measured so that the length related mass (g·cm⁻¹) is equal to that of a material with a density of 400 kg·m⁻³.

7.1.4 Méthode d'essai

L'appareillage décompose en continu l'éprouvette d'essai de type bande dans le tube en quartz de 1 300 mm de longueur. Le tube en quartz de diamètre extérieur de 40 mm et d'une épaisseur de paroi de 2 mm est placé dans un four annulaire de 100 mm de longueur à température contrôlée. Le four est déplacé à une vitesse de $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ le long de l'axe du tube. Ce faisant, il passe sur l'éprouvette d'essai, qui est dans une nacelle en quartz posée dans le tube en quartz. Un courant d'air (variable) est insufflé sur l'éprouvette d'essai dans la direction opposée au sens de déplacement du four.

Le déplacement contraire du four et du débit d'air empêche les gaz de décomposition chauds de préchauffer les parties non encore décomposées de l'éprouvette d'essai. La température d'essai est réglée entre 200°C et 900°C et mesurée par un objet de référence. Cet objet de référence est une tige d'acier de 200 mm de long sur laquelle le thermocouple est soudé et il est placé dans le support de l'éprouvette d'essai. La température est fixée en réalisant trois essais avec l'objet de référence à la même température du four. L'essai lui-même est réalisé et, à l'extrémité du tube en quartz, l'effluent est refroidi avec de l'air frais, dilué et amené dans l'enceinte d'inhalation où le nez ou l'ensemble du corps du rat est exposé. L'analyse de gaz est également possible pendant l'essai.

7.1.5 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible.

7.1.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

Le modèle de décomposition du four tubulaire de la DIN 53436-1 [12] a été utilisé par différents chercheurs en vue de la détermination des données LC_{50} . Ce modèle feu offre la possibilité de décomposer des matériaux sous forme de bandes dans des conditions applicables aux divers scénarios incendie définis dans le tableau 2 de l'ISO/TR 9122-5 [17]. La même masse ou le même volume de matériau à essayer est décomposé dans des conditions spécifiques. Les relations de réponse de concentration sont aisément accessibles, en faisant varier la concentration par dilution des effluents du feu avec l'air.

On détermine les données de puissance toxique létale associées à une exposition de 30 min dans des conditions spécifiques de la procédure d'essai. Les constatations toxicologiques peuvent ainsi être liées à la masse, au volume ou à la surface de l'éprouvette d'essai utilisé(e).

Il est également possible de calculer les données de LC_{50} en utilisant les valeurs de concentration des composants majeurs des gaz du feu. Le nombre d'essais impliquant des animaux peut ainsi être réduit au minimum absolu.

7.1.7 Documents de référence

- DIN 53436-1 [12]
- ISO/TR 9122-5 [17]
- DIN 53436-2 [18]
- DIN 53436-3 [19]

7.2 Bureau National des Normes (NBS)

7.2.1 Résumé

L'essai au four « NBS cup » est utilisé pour la toxicité par inhalation aiguë des produits de combustion.

7.1.4 Test method

The apparatus continuously decomposes the strip-like test specimen in the 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 $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 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.

7.1.5 Repeatability and reproducibility

No data are available.

7.1.6 Relevance of test data and special observations

The decomposition model of the DIN 53436-1 [12] tubular furnace has been used by different researchers for the determination of LC_{50} data. This fire model offers the possibility to decompose materials in strip form under the conditions relevant to various fire scenarios defined in table 2 of ISO/TR 9122-5 [17]. 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 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.

7.1.7 Reference documents

DIN 53436-1 [12]

ISO/TR 9122-5 [17]

DIN 53436-2 [18]

DIN 53436-3 [19]

7.2 National Bureau of Standards (NBS)

7.2.1 Summary

The "NBS Cup" furnace test is used for the assessment of acute inhalation toxicity of combustion products.

7.2.2 But et principe

Cette méthode d'essai est utilisée pour la détermination de la puissance toxique à travers la production d'effluents de décomposition à combustion avec flammes et sans flammes dans un système clos statique utilisant un four à creuset de type coupelle de 1 l chauffé électriquement, relié directement à une enceinte d'exposition de 200 l avec six portes d'exposition d'animaux (rats) et des dispositions d'échantillonnage pour l'analyse d'effluent.

Le résultat rapporté est le LC_{50} pour une exposition de 30 min plus une période de post-exposition de 14 jours, exprimée comme la masse de l'éprouvette d'essai exposée par unité de volume d'enceinte.

7.2.3 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai de masse type pouvant atteindre 8 g peut être un morceau de matériau ou peut être découpée dans un produit fini.

7.2.4 Méthode d'essai

Un four à coupelle de 1 l en acier inoxydable chauffé électriquement est réglé à une température prédéterminée, et on fait tomber dans le four l'éprouvette d'essai (généralement de 1 g à 8 g); on permet à l'effluent qui en résulte de remplir l'enceinte par convection.

Deux modes de combustion - combustion avec flammes et combustion sans flammes - sont prescrits. Dans le mode exempt de flammes, la température du four est réglée à 25 °C au-dessous de la température d'allumage de l'éprouvette d'essai et dans le mode à combustion avec flammes elle est réglée à 25 °C au-dessus de la température d'allumage de l'éprouvette d'essai. La température d'allumage de l'éprouvette d'essai est déterminée dans le four à coupelle avant l'essai.

L'essai est effectué dans une enceinte d'essai de 200 l en plastique clair qui contient le four, dont le haut ouvert est au niveau du plancher de l'enceinte d'essai, des portes d'exposition d'animaux et du dispositif d'échantillonnage d'analyse.

C'est uniquement le nez des rats qui est exposé à l'atmosphère de l'enceinte d'essai pendant une période de 30 min, en commençant par l'introduction de l'éprouvette d'essai dans la chambre de combustion. Les animaux qui ne sont pas morts à la fin de la période d'exposition sont observés pendant 14 jours supplémentaires. Toutes les morts survenant au cours de cette période sont considérées comme le résultat de l'exposition au produit de la combustion et comptées dans la détermination de LC_{50} .

O₂, CO et CO₂ font l'objet d'une surveillance continue.

Les résultats sont exprimés en tant que LC_{50} dans des conditions de combustion avec flammes et en l'absence de flammes: exposition de 30 min dans l'enceinte plus observation de post-exposition pendant 14 jours, rapportés comme milligramme d'échantillon chargé par litre de volume de l'enceinte. On calcule le LCt_{50} en multipliant le LC_{50} par le temps d'exposition de 30 min.

D'autres informations enregistrées comprennent les conditions liées à l'enceinte, la température maximale, les concentrations de O₂, CO et CO₂.

7.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Les rapports du NBS indiquent une répétabilité relativement bonne avec cette méthode.

7.2.2 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 litre 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.

7.2.3 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.

7.2.4 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 the result of combustion product exposure and counted in the LC_{50} determination.

O₂, CO and CO₂ 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 LC_{t50} is calculated by multiplying the LC_{50} by the 30 min exposure time.

Other information recorded includes chamber conditions, maximum temperature and O₂, CO and CO₂ concentrations.

7.2.5 Repeatability and reproducibility

NBS reports indicate relatively good repeatability with this method.

7.2.6 Pertinence des données d'essai et observations spéciales

L'essai NBS a été complètement remplacé par l'essai NIST (National Institute of Standards et Technology) (voir 7.3).

L'essai NBS a été critiqué du fait que le four à coupelle est mieux adapté pour des matériaux homogènes et ne contient pas aisément des éprouvettes d'essai composites ou stratifiées. La géométrie de la coupelle fermée signifie que des éprouvettes d'essai de grande taille, hautement combustibles peuvent conduire à un accroissement rapide de la température et à un appauvrissement en oxygène, qui peuvent chacun affecter la réponse des animaux aux produits de combustion, et de ce fait, la pertinence des résultats.

De plus, il est souvent difficile de caractériser les conditions dans lesquelles est décomposée l'éprouvette d'essai. De l'air peut entrer dans le four à coupelle uniquement par le haut, ainsi les éprouvettes d'essai qui brûlent fortement et prennent une fraction appréciable du volume de four peuvent parfois obtenir comparativement moins d'oxygène que ne le font des éprouvettes d'essai plus petites ou moins combustibles.

Bien que les rendements en monoxyde de carbone tendent à varier, peu de données existent qui comparent le potentiel toxique mesuré avec cette méthode d'essai à celle réalisée dans des conditions à pleine échelle, de sorte que l'effet pratique de cette limite n'est pas connue.

Les résultats sont exprimés comme la concentration de masse sur la base de la quantité de d'éprouvettes d'essai chargées, au lieu de la quantité convertie en effluents volatiles. De ce fait, lorsque l'éprouvette d'essai n'est pas complètement consumée, les résultats exprimés surestiment la concentration réelle de la masse dans l'effluent du feu et, de là, sous-estiment le potentiel toxique de l'effluent. La solution peut consister à peser le résidu de l'éprouvette d'essai après l'essai et à effectuer la correction appropriée, mais une telle étape ne fait pas partie de la procédure publiée.

7.2.7 Documents de référence

ASTM E-662 [5]

ISO/TR 9122-4 [2]

Hartzell [20]

Levin, B.C. et al. [21]

Levin, B.C., Paabo, M. and Birky, M.M. [22]

7.3 National Institute of Standards and Technology (NIST)

7.3.1 Résumé

La méthode de four radiant NIST est utilisée pour les déterminations de puissance toxiques par la production d'effluents de décomposition à combustion avec flammes et sans flammes dans un système statique clos.

Le potentiel toxique létale est d'abord estimé à partir des données analytiques de l'atmosphère de combustion utilisant les calculs *DEF*. Il s'agit de minimiser la quantité d'essais sur animaux prescrits pour les confirmations de réponses biologiques.

Le résultat rapporté est le LC_{50} du modèle de gaz N pour une exposition de 30 min plus une période de post-exposition de 14 jours, exprimé comme le produit de perte de masse de l'éprouvette multiplié par le temps d'exposition par masse volumique de l'enceinte d'essai.

7.2.6 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 7.3).

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.

7.2.7 Reference documents

ASTM E-662 [5]

ISO/TR 9122-4 [2]

Hartzell [20]

Levin, B.C. and al. [21]

Levin, B.C., Paabo, M. and Birky, M.M. [22]

7.3 National Institute of Standards and Technology (NIST)

7.3.1 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.

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 LC_{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.

7.3.2 But et principe

Le dispositif de combustion est constitué d'une cellule de combustion à quartz cylindrique monté horizontalement, de 130 mm de diamètre intérieur et d'environ 320 mm de long. Il est relié à une enceinte d'exposition pour animaux par une cheminée en acier inoxydable, qui est d'environ 30 mm × 300 mm × 300 mm. À l'extérieur de la cellule de combustion se trouvent quatre lampes à quartz au tungstène à chaleur rayonnée focalisées sur le plan de l'éprouvette d'essai. Une plate-forme accueillant les éprouvettes d'essai, de 76 mm × 127 mm, et dont l'épaisseur peut atteindre 51 mm, est reliée à une cellule de pesée située au-dessous de la chambre de combustion, afin de surveiller en continu la masse de l'éprouvette d'essai. Une étincelle à haute énergie est utilisée comme source d'allumage.

7.3.3 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai, avec une masse type pouvant atteindre 8 g, peut être un morceau de matériau ou une éprouvette d'essai découpée dans le produit final. La plate-forme de l'éprouvette d'essai peut accueillir les éprouvettes d'essai de 76 mm × 127 mm et dont l'épaisseur peut atteindre 51 mm.

7.3.4 Méthode d'essai

Le four à coupelle orienté verticalement de l'essai NBS est remplacé par une cellule de combustion horizontale à chaleur rayonnante, qui peut accueillir une variété de géométries d'éprouvettes d'essai et est montée sur une cellule de pesée en vue d'une mesure continue de la perte de masse. Elle est reliée à une enceinte d'exposition au moyen d'une cheminée en acier inoxydable et d'un obturateur. L'éprouvette d'essai reçoit la chaleur rayonnante d'une intensité prédéterminée à travers les parois en quartz de la cellule de combustion provenant de deux lampes radiantes montées à l'extérieur, et l'effluent passe par le haut de la cheminée et à l'intérieur de l'enceinte d'exposition. Après 15 min d'irradiation, l'obturateur de cheminée est fermé et les lampes sont éteintes.

Dans la première partie de l'essai, aucun animal n'est utilisé. À la place, une éprouvette d'essai d'une taille convenable (généralement 5 g) est exposée à la chaleur rayonnante. La composition de l'effluent dans l'enceinte d'essai est surveillée par l'analyse en continue du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone, de l'oxygène et de tous autres gaz toxiques dont on prédit la présence à partir de la composition de l'éprouvette d'essai (par exemple substances organiques, haloacides, cyanure d'hydrogène). La période de surveillance des animaux correspond aux 30 min qui suivent l'exposition de l'éprouvette d'essai, dont les 15 dernières minutes correspondent à la période d'extinction des lampes et de fermeture de l'obturateur. À la fin de la période de surveillance, le modèle de gaz N et les données analytiques sont utilisés pour calculer la DEF létale de l'effluent que les animaux de l'enceinte auraient reçue s'ils avaient été exposés. On adapte la taille de l'éprouvette d'essai pour correspondre à une DEF d'environ 1,1 et on renouvelle l'essai pour vérification.

Une fois établie la corrélation entre la taille de l'éprouvette d'essai et la DEF, on répète la procédure deux fois en utilisant les animaux et les conditions d'exposition décrites plus haut pour l'essai NBS. Dans le premier essai, on adapte la taille de l'éprouvette d'essai pour fournir une DEF prévue de 1,4. Si le modèle de gaz N constitue un bon mode de prévision de la puissance toxique, alors, à la fin de la période de post-exposition de 14 jours, un ou deux animaux seront morts à la suite du premier essai et six à la suite du second. Si le modèle de gaz N ne parvient pas à prédire la mortalité, alors l'effluent contient des agents qui ne sont pas inclus dans le modèle de gaz N et le LC_{50} est déterminé au moyen de l'appareillage et des animaux selon les techniques toxicologiques normalisées.

Les concentrations de l'enceinte intégrées sur le temps sont déterminées pour les oxydes de carbone par infrarouge et, le cas échéant, pour les haloacides et le cyanure d'hydrogène, la concentration minimale en oxygène dans l'enceinte par l'analyseur paramagnétique et la perte de masse de l'éprouvette d'essai par une cellule de pesée.

7.3.2 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.

7.3.3 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. The test specimen platform can accommodate test specimens measuring 76 mm × 127 mm and up to 51 mm thick.

7.3.4 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 which are not included in the N-gas model and the actual *LC*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 and, when appropriate, for hydrogen halides and hydrogen cyanide; the minimum oxygen concentration in the chamber is determined by paramagnetic analyzer, and the mass loss of the test specimen is determined by a load cell.