

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 60695-7-3

Deuxième édition
Second edition
2004-02

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 7-3:

Toxicité des effluents du feu –

Utilisation et interprétation des résultats d'essai

Fire hazard testing –

Part 7-3:

Toxicity of fire effluent –

Use and interpretation of test results



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TS 60695-7-3:2004

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 (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.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 (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.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

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

**CEI
IEC**

TECHNICAL SPECIFICATION

TS 60695-7-3

Deuxième édition
Second edition
2004-02

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION

Essais relatifs aux risques du feu –

Partie 7-3:

Toxicité des effluents du feu –

Utilisation et interprétation des résultats d'essai

Fire hazard testing –

Part 7-3:

Toxicity of fire effluent –

Use and interpretation of test results

© IEC 2004 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	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application.....	12
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	14
4 Principes d'évaluation du risque toxique.....	22
4.1 Introduction	22
4.2 Dose d'exposition	24
4.3 Détermination des données de concentration en fonction du facteur temps	26
4.4 Asphyxiants et dose effective fractionnelle, <i>DEF</i>	28
4.4.1 Introduction	28
4.4.2 Propriétés de la <i>DEF</i>	28
4.4.3 Utilisation de la <i>DEF</i>	30
4.5 Irritants et concentration effective fractionnelle, <i>CEF</i>	30
4.6 Dioxyde de carbone	32
4.7 Appauvrissement en oxygène	32
4.8 Contrainte thermique	32
4.9 Effets de la stratification et du transport des atmosphères de feu	32
5 Méthodes d'évaluation du risque toxique	32
5.1 Approche générale	32
5.2 Equations utilisées pour prédire la mort	32
5.2.1 Le modèle de gaz toxique simple	32
5.2.2 Le modèle N-gaz	34
5.2.3 L'effet hyperventilatoire du dioxyde de carbone	34
5.2.4 Valeurs de puissance toxique létale	36
5.2.5 Le modèle de la perte de masse	36
5.3 Equations utilisées pour prédire l'incapacité	38
5.3.1 Modèle de gaz asphyxiant	38
5.3.2 Modèle de gaz irritant	38
5.3.3 Modèle de la perte de masse	38
6 Valeurs de puissance toxique.....	40
6.1 Valeurs génériques de puissance toxique.....	40
6.2 Valeurs de puissance toxique obtenues à partir d'analyses chimiques	40
6.3 Valeurs de puissance toxique obtenues à partir d'essais sur des animaux	40
7 Limitations de l'interprétation des résultats d'essai de toxicité.....	40
8 Composants d'effluent à mesurer	42
8.1 Rapport minimal	42
8.2 Rapport additionnel.....	42
8.2.1 Composants gazeux des effluents du feu	42
8.2.2 Particules en suspension dans l'air	44

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references.....	13
3 Terms and definitions	15
4 Principles of toxic hazard assessment.....	23
4.1 Introduction	23
4.2 Exposure dose.....	25
4.3 Determination of concentration-time data	27
4.4 Asphyxiants and the fractional effective dose, <i>FED</i>	29
4.4.1 Introduction	29
4.4.2 Properties of the <i>FED</i>	29
4.4.3 Uses of the <i>FED</i>	31
4.5 Irritants and the fractional effective concentration, <i>FEC</i>	31
4.6 Carbon dioxide	33
4.7 Oxygen vitiation	33
4.8 Heat stress	33
4.9 Effects of stratification and transport of fire atmospheres	33
5 Methods of toxic hazard assessment.....	33
5.1 General approach.....	33
5.2 Equations used to predict death.....	33
5.2.1 The simple toxic gas model.....	33
5.2.2 The N-gas model.....	35
5.2.3 The hyperventilatory effect of carbon dioxide.....	35
5.2.4 Lethal toxic potency values	37
5.2.5 The mass loss model.....	37
5.3 Equations used to predict incapacity	39
5.3.1 The asphyxiant gas model.....	39
5.3.2 The irritant gas model	39
5.3.3 The mass loss model.....	39
6 Toxic potency values	41
6.1 Generic values of toxic potency	41
6.2 Toxic potency values obtained from chemical analyses	41
6.3 Toxic potency values obtained from animal tests.....	41
7 Limitations on the interpretation of toxicity test results.....	41
8 Effluent components to be measured	43
8.1 Minimum reporting.....	43
8.2 Additional reporting.....	43
8.2.1 Gaseous fire effluent components	43
8.2.2 Airborne particulates.....	45

Annexe A (informative) Guide pour l'utilisation des valeurs LC_{50}	46
A.1 Généralités	46
A.2 Limite du risque	46
A.3 Utilisation des valeurs de LC_{50} dans des types spécifiques d'incendies	46
Annexe B (informative) Exemple simple traité pour illustrer les principes d'une analyse de risque toxique.....	52
B.1 Scénario du problème	52
B.2 Informations disponibles	52
B.3 Analyse du risque.....	52
Annexe C (informative) Valeurs F pour les irritants	60
Bibliographie	62
Figure 1 – Dose d'exposition en fonction de la durée et de la concentration	24
Figure 2 – Composantes du danger du feu en fonction de la durée	26
Figure 3 – DEF totale et contributions, en fonction de la durée.....	30
Figure B.1 – Vitesse de propagation de la flamme pour les matériaux A et B	54
Figure B.2 – Risque toxique relatif de deux matériaux – en temps de létalité, i.e. $DEF \geq 1$	58
Tableau 1 – Dépendance de ν_{CO_2} et de α par rapport à la fraction volumique du dioxyde de carbone	34
Tableau 2 – Quelques valeurs de puissance toxique.....	36
Tableau 3 – Produits de la combustion	42
Tableau B.1 – Exemple de données de calcul de DEF pour le matériau A	56
Tableau B.2 – Exemple de données de calcul de DEF pour le matériau B	56
Tableau C.1 – Valeurs F pour les irritants.....	60

Annex A (informative) Guidance for the use of LC_{50} values	47
A.1 General.....	47
A.2 Limiting hazard	47
A.3 Use of LC_{50} values in specific types of fires	47
Annex B (informative) A simple worked example to illustrate the principles of a toxic hazard analysis	53
B.1 The problem scenario	53
B.2 Information available	53
B.3 Hazard analysis	53
Annex C (informative) F values for irritants	61
Bibliography	63
Figure 1 – Exposure dose as a function of time and concentration	25
Figure 2 – Time-dependent components of fire hazard.....	27
Figure 3 – Total FED and contributors, as a function of time.....	31
Figure B.1 – Flame spread rate for materials A and B.....	55
Figure B.2 – Relative toxic hazard of two materials – time to lethality, i.e. $FED \geq 1$	59
Table 1 – Dependence of ν_{CO_2} and a on the volume fraction of carbon dioxide.....	35
Table 2 – Some toxic potency values.....	37
Table 3 – Combustion products.....	43
Table B.1 – Example FED calculation data for material A.....	57
Table B.2– Example FED calculation data for material B.....	57
Table C.1 – F values for irritants	61

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

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

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 60695-7-3, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette deuxième édition de la CEI 60695-7-3 annule et remplace la première édition publiée en 1998. Elle constitue une révision technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

**Part 7-3: Toxicity of fire effluent –
Use and interpretation of test results**

FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 60695-7-3, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This second edition of IEC 60695-7-3 cancels and replaces the first edition published in 1998. It constitutes a technical revision.

La structure de la présente spécification technique reste pour l'essentiel la même mais elle a été utilement étoffée dans tous les domaines afin de mieux mettre en lumière son alignement sur les travaux du TC 92 de l'ISO *Sécurité au feu* et en particulier sur l'ISO 13344 et l'ISO/TS 13571.

Les principaux thèmes ont été étendus pour les aligner sur la philosophie actuelle d'utilisation et d'interprétation des résultats d'essai.

- Des formules sont données pour le calcul de la fraction de la dose incapacitante pour chacun des agents asphyxiants, du monoxyde de carbone et du cyanure d'hydrogène.
- Les fractions de volume supposées causer l'incapacitation (valeurs F) sont données pour certains des irritants les plus importants.
- Les équations utilisées pour les prévisions du taux de létalité sont indiquées.
- L'effet hyperventilatoire du dioxyde de carbone est étudié.

Elle a le statut de publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/592/DTS	89/629/RVC

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

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

La présente spécification technique doit être utilisée conjointement à la CEI 60695-7-1 et à la CEI 60695-7-2.

La CEI 60695-7, qui porte le titre général *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7: Toxicité des effluents du feu*, comprend les parties suivantes:

Partie 7-1: Toxicité des effluents du feu – Généralités

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

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

Partie 7-50: Toxicité des effluents du feu – Estimation de la puissance toxique – Appareillage et méthode d'essai

Partie 7-51: Toxicité des effluents du feu – Estimation de la puissance toxique – Calcul et interprétation des résultats d'essai

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2009. A cette date, la publication sera

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

The structure of this technical specification remains essentially the same but has been usefully expanded in all areas to further clarify the alignment with ISO/TC 92 *Fire Safety* and in particular with ISO 13344 and ISO/TS 13571.

The main topics have been expanded upon to bring them into alignment with the current philosophy for the use and interpretation of test results.

- Formulae are given for the calculation of the fraction of the incapacitating dose for each of the asphyxiants, carbon monoxide and hydrogen cyanide.
- Volume fractions that are expected to cause incapacitation (F values) are given for some of the more important irritants.
- Equations used to predict death are given.
- The hyperventilatory effect of carbon dioxide is discussed.

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

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

Enquiry draft	Report on voting
89/592/DTS	89/629/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical specification 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 technical specification is to be used in conjunction with IEC 60695-7-1 and IEC 60695-7-2.

IEC 60695-7, under the general title *Fire hazard testing – Part 7: Toxicity of fire effluent*, consists of the following parts:

- Part 7-1: Toxicity of fire effluent – General
- Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods
- Part 7-3: Toxicity of fire effluent – Use and interpretation of test results
- Part 7-50: Toxicity of fire effluent – Estimation of toxic potency – Apparatus and test method
- Part 7-51: Toxicity of fire effluent – Estimation of toxic potency – Calculation and interpretation of test results

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2009. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Les produits électrotechniques sont souvent impliqués dans les incendies. Cependant, sauf dans certains cas spécifiques (par exemple centrales électriques, galerie technique dans les tunnels, salles d'ordinateur), les produits électrotechniques ne sont pas normalement en quantité suffisante pour former la principale source de produits toxiques. Par exemple, dans les habitats et les lieux recevant du public, les produits électrotechniques constituent habituellement une source d'effluent gazeux mineure par rapport à l'ameublement par exemple.

Il convient de noter que la série CEI 60695-7 est soumise à l'évolution permanente de la philosophie de sécurité au feu du TC 92 de l'ISO.

Les indications proposées dans la présente spécification technique correspondent aux principes de sécurité contre l'incendie développés par le TC 92 SC 3 de l'ISO sur les dangers toxiques du feu, comme cela est décrit dans l'ISO/TR 9122-1 à 9122-6. Des lignes directrices générales pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques sont données dans la CEI 60695-1-1. Les indications sur l'estimation des temps d'évacuation en cas d'incendie sont données dans l'ISO/TS 13571. La détermination de la puissance toxique létale des effluents du feu est décrite dans l'ISO 13344.

Le texte qui suit résume les points de vue exprimés dans l'ISO/TR 9122-1 (*Essais de toxicité des effluents du feu – Partie 1: Généralités*).

«Les essais à échelle réduite sur la puissance toxique comme nous les connaissons de nos jours ne sont pas adaptés pour la réglementation. Ils ne permettent pas de classer les matériaux en fonction de leur potentiel à produire des atmosphères toxiques dans des feux. Tous les essais couramment disponibles sont limités du fait de leur incapacité à reproduire l'évolution dynamique du feu qui détermine le profil de temps/concentration des effluents du feu à grande échelle et à reproduire la réaction des produits électrotechniques et non seulement des matériaux qui les composent. C'est une limitation décisive parce que les effets toxiques des effluents de combustion sont maintenant connus comme dépendant plus de la vitesse et des conditions de combustion que de la constitution chimique des matériaux impliqués dans la combustion.»

Compte tenu de ces limitations, le CE 89 de la CEI a établi la CEI 60695-7-50. Il s'agit d'un essai pratique à petite échelle de la puissance toxique qui, dans la mesure où il peut donner des modèles d'étapes définies d'un feu, fournira des données de puissance toxique adaptées pour être utilisées dans l'évaluation d'un danger en vraie grandeur. Cette méthode d'essai suit les lignes directrices du TC 92 SC 3 de l'ISO en ce qui concerne les modèles de feu utilisés et les méthodes de mesure des effluents. La CEI 60695-7-51 couvre le calcul et l'interprétation des résultats d'essai également dans le cadre des lignes directrices du TC 92 SC 3 de l'ISO.

Les manifestations des incendies et des accidents dus au feu, considérés sur la base des données provenant d'expériences d'incendie et des études de toxicité liée à la combustion, suggèrent que les produits chimiques présentant une toxicité anormalement élevée ne sont pas nombreux (voir l'Article 7). Le monoxyde de carbone est de loin l'agent le plus significatif pour la part prise au risque toxique. D'autres agents importants sont le cyanure d'hydrogène, le dioxyde de carbone et les irritants. Il existe également d'autres menaces importantes qui ne sont pas de nature toxique mais qui sont potentiellement mortelles. Il s'agit des effets de la chaleur et de l'énergie rayonnant, de ceux de la raréfaction de l'oxygène et de ceux de l'obscurcissement dû à la fumée qui sont tous traités dans l'ISO/TS 13571. La CEI 60695-6-1 fournit des lignes directrices générales concernant les effets de l'obscurcissement dû aux fumées.

L'ISO/TR 9122-1 reconnaît que le meilleur moyen pour réduire efficacement le risque toxique consiste à utiliser des essais et réglementations permettant d'obtenir une résistance améliorée à l'allumage et des taux réduits de développement du feu, ce qui limite le niveau d'exposition aux effluents du feu.

INTRODUCTION

Electrotechnical products sometimes become involved in fires. However, except for certain specific cases (e.g. power generating stations, mass transit tunnels, computer suites), electrotechnical products are not normally present in sufficient quantities to form the major source of toxic hazard. For example, in domestic dwellings and places of public assembly, electrotechnical products are usually a very minor source of fire effluent compared with, for example, furnishings.

It should be noted that the IEC 60695-7 series is subject to the ongoing evolution of fire safety philosophy within ISO/TC 92.

The guidance in this technical specification is consistent with the principles of fire safety developed by ISO TC 92 SC 3 on toxic hazards in fire, as described in ISO/TR 9122-1 to 9122-6. General guidance for the assessment of the fire hazard of electrotechnical products is given in IEC 60695-1-1. Guidance on the estimation of escape times from fires is given in ISO/TS 13571. The determination of the lethal toxic potency of fire effluents is described in ISO 13344.

The following is a summary of the views expressed in ISO/TR 9122-1 (*Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General*).

"Small-scale toxic potency tests as we know them today are inappropriate for regulatory purposes. They cannot provide rank orderings of materials with respect to their propensity to produce toxic atmospheres in fires. All currently available tests are limited because of their inability to replicate the dynamics of fire growth which determine the time/concentration profiles of the effluent in full-scale fires, and the response of electrotechnical products, not just materials. This is a crucial limitation because the toxic effects of combustion effluent are now known to depend much more on the rates and conditions of combustion than on the chemical constitution of the burning materials."

Because of these limitations IEC TC 89 has developed IEC 60695-7-50. This is a practical small-scale test for toxic potency which, by virtue of its ability to model defined stages of a fire, will yield toxic potency data suitable for use in a full hazard assessment. The test method follows the guidance of ISO TC 92 SC 3 in terms of the fire models used, and in methods of measurement of effluent. IEC 60695-7-51 covers the calculation and interpretation of test results, again following the guidance of ISO TC 92 SC 3.

The evidence from fires and fire casualties, when taken with data from experimental fire and combustion toxicity studies, suggests that chemical species with unusually high toxicity are not important (see Clause 7). Carbon monoxide is by far the most significant agent contributing to toxic hazard. Other agents of major significance are hydrogen cyanide, carbon dioxide and irritants. There are also other important, non-toxic, threats to life. These are the effects of heat and radiant energy, the effects of depletion of oxygen, and the effects of smoke obscuration, which are all discussed in ISO/TS 13571. General guidance on the effects of smoke obscuration is given in IEC 60695-6-1.

ISO/TR 9122-1 recognizes that effective mitigation of toxic hazard is best accomplished by tests and regulations leading to improved resistance to ignition and to reduced rates of fire growth, thus limiting the level of exposure to fire effluent.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

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

1 Domaine d'application

Cette spécification technique concerne les essais en laboratoire utilisés pour mesurer les composants toxiques des effluents du feu provenant des produits électrotechniques ou des matériaux utilisés dans ces produits. Elle fournit des indications pour l'utilisation et l'interprétation des résultats obtenus lors de ces essais. Elle traite des approches actuellement disponibles pour l'évaluation du risque toxique compatible avec l'approche du TC 92 SC 3 de l'ISO, telle qu'elle est définie dans l'ISO/TR 9122-1 à 9122-6, dans l'ISO 13344 et l'ISO/TS 13571. Elle fournit également des indications pour l'utilisation des données de puissance toxique dans l'évaluation du danger et sur les principes qui mettent l'accent sur l'utilisation des informations sur la combustion et la toxicologie dans l'évaluation du risque.

Les méthodes décrites sont applicables aux données concernant à la fois les effets incapacitants et les effets létaux des effluents du feu.

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 (voir le Guide 104 de la CEI).

2 Références normatives

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

CEI 60695-1-1:1999, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-1: Guide pour l'évaluation des risques de feu des produits électrotechniques – Directives générales*

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

ISO/TR 9122 (toutes les parties), *Essais de toxicité des effluents du feu*

ISO 13344:1996, *Détermination du pouvoir toxique léthal des effluents du feu*

ISO/TS 13571:2002, *Composants dangereux du feu – Lignes directrices pour l'estimation du temps disponible pour l'évacuation, utilisant les caractéristiques du feu*

FIRE HAZARD TESTING –

Part 7-3: Toxicity of fire effluent – Use and interpretation of test results

1 Scope

This technical specification concerns laboratory tests used to measure the toxic components of the fire effluent from either electrotechnical products or materials used in electrotechnical products. It provides guidance on the use and interpretation of results from such tests. It discusses currently available approaches to toxic hazard assessment consistent with the approach of ISO TC 92 SC 3, as set out in ISO/TR 9122-1 to 9122-6, ISO 13344 and ISO/TS 13571. It also provides guidance on the use of toxic potency data in hazard assessment and on principles which underlie the use of combustibility and toxicological information in hazard assessment.

The methods described are applicable to data concerning both the incapacitating effects and the lethal effects of fire effluents.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications (see IEC Guide 104).

2 Normative references

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

IEC 60695-1-1:1999, *Fire hazard testing – Part 1-1: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*

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

ISO/TR 9122 (all parts), *Toxicity testing of fire effluents*

ISO 13344:1996, *Determination of the lethal toxic potency of fire effluents*

ISO/TS 13571:2002, *Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1

toxicité aiguë

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

3.2

asphyxiant

substance toxique provoquant une perte de conscience puis en dernier lieu la mort à la suite des effets hypoxiques, affectant en particulier le système nerveux central et/ou le système cardiovasculaire

3.3

brûler, verbe intransitif

être en état de combustion

[ISO/CEI 13943, définition 10]

3.4

combustible, adjectif

susceptible de brûler

[ISO/CEI 13943, définition 21]

3.5

combustible, substantif

objet pouvant brûler

[ISO/CEI 13943, définition 22]

3.6

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]

3.7

concentration

quantité de constituant par unité de volume

3.8

concentration effective, EC_{50}

concentration ou fraction volumique d'un constituant toxique ou d'un mélange de constituants toxiques qui, inhalée pendant une durée spécifiée, cause un effet spécifique observé chez 50 % d'une population de la même espèce et exposée aux mêmes conditions expérimentales

NOTE L'effet observé est typiquement soit une réponse comportementale indiquant l'incapacitation, soit la mort. La concentration effective pour une exposition létale est exprimée par « LC_{50} », la concentration létale.

3.9

dose d'exposition effective 50, ECt_{50}

dose d'exposition d'un constituant toxique qui, inhalée, cause un effet spécifique observé chez 50 % d'une population de la même espèce et exposée aux mêmes conditions expérimentales

NOTE L'effet observé est typiquement soit une réponse comportementale indiquant l'incapacitation, soit la mort. La ECt_{50} pour une exposition létale est exprimée par « LCt_{50} », la dose d'exposition létale 50.

3.10

dose d'exposition

quantité d'un constituant toxique gazeux ou d'un effluent du feu qui peut être inhalé, c'est-à-dire l'intégration de la surface délimitée soit par la courbe concentration-durée, soit par la courbe fraction volumique-durée

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following definitions apply.

3.1

acute toxicity

ability of a substance to produce rapidly occurring adverse effects upon a living organism

3.2

asphyxiant

a toxicant causing loss of consciousness and ultimately death resulting from hypoxic effects, particularly on the central nervous and/or cardiovascular systems

3.3

burn, intransitive verb

to undergo combustion

[ISO/IEC 13943, definition 10]

3.4

combustible, adjective

capable of being combusted

[ISO/IEC 13943, definition 21]

3.5

combustible, noun

item capable of combustion

[ISO/IEC 13943, definition 22]

3.6

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]

3.7

concentration

amount of substance per unit volume

3.8

effective concentration, EC_{50}

concentration or volume fraction of a toxicant, or mixture of toxicants that, when inhaled for a specified period of time, causes a specific observed effect in 50 % of a population all of which are the same species and all exposed under the same experimental conditions

NOTE The observed effect is typically either a behavioural response indicative of incapacitation or death. The effective concentration for a lethal exposure is termed " LC_{50} ", the lethal concentration.

3.9

effective exposure dose 50, ECt_{50}

exposure dose of a toxicant that, when inhaled, causes a specific observed effect in 50 % of a population all of which are the same species and all exposed under the same experimental conditions

NOTE The observed effect is typically either a behavioural response indicative of incapacitation or death. The ECt_{50} for a lethal exposure is termed " LCt_{50} ", the lethal exposure dose 50.

3.10

exposure dose

a measure of a gaseous toxicant or of a fire effluent which is available for inhalation, i.e. the integrated area under either the concentration-time curve or the volume fraction-time curve

3.11

feu

combustion auto-entretenue qui a été délibérément organisée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée

NOTE En anglais le mot «fire» peut avoir deux significations qui sont traduites par deux mots différents à la fois en français et en allemand.

[ISO/CEI 13943, définition 40]

3.12

incendie

(non contrôlé) combustion auto-entretenue qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace

[ISO/CEI 13943, définition 41]

3.13

effluents du feu

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

[ISO/CEI 13943, définition 45]

3.14

danger du feu

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

[ISO/CEI 13943, définition 48]

3.15

modèle de 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]

3.16

risque d'incendie

produit de

- la probabilité d'apparition d'un feu dans un processus ou un état technique donnés, et
- l'importance attendue des dommages ou de leurs conséquences lors de l'apparition du feu

[ISO/CEI 13943, définition 57]

3.17

scénario feu

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

[ISO/CEI 13943, définition 58]

3.18

propagation de flammes

progression d'un front de flammes

[ISO/CEI 13943, définition 68]

3.19

embrasement éclair

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

[ISO/CEI 13943, définition 77]

3.11**fire**

(controlled) self-supporting combustion which has been deliberately arranged to provide useful effects and which is controlled in its extent in time and space

NOTE In the English language the word “fire” can have two meanings which translate into two different words in both French and German.

[ISO/IEC 13943, definition 40]

3.12**fire**

(uncontrolled) self-supporting combustion which spreads uncontrolled in time and space

[ISO/IEC 13943, definition 41]

3.13**fire effluent**

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

[ISO/IEC 13943, definition 45]

3.14**fire hazard**

potential for injury and/or damage from fire

[ISO/IEC 13943, definition 48]

3.15**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]

3.16**fire risk**

product of

- probability of occurrence of a fire to be expected in a given technical operation or state, and
- consequence or extent of damage to be expected on the occurrence of a fire

[ISO/IEC 13943, definition 57]

3.17**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]

3.18**flame spread**

propagation of a fire front

[ISO/IEC 13943, definition 68]

3.19**flash-over**

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

[ISO/IEC 13943, definition 77]

3.20

concentration effective fractionnelle, *CEF*

rapport de la concentration d'un irritant sur celle sensée produire un effet donné sur un sujet exposé de sensibilité moyenne

NOTE 1 En tant que concept, la *CEF* peut se référer à tout effet, y compris l'incapacitation, la létalité ou même d'autres points finaux.

NOTE 2 Lorsqu'il n'est pas utilisé en se référant à un irritant spécifique, le terme *CEF* représente la somme des *CEF* pour tous les irritants dans une atmosphère de combustion

3.21

dose effective fractionnelle, *DEF*

rapport de la dose d'exposition pour un composant toxique asphyxiant sur celle sensée produire un effet donné sur un sujet exposé de sensibilité moyenne

NOTE 1 En tant que concept, la *DEF* peut se référer à tout effet, y compris l'incapacitation, la létalité ou même d'autres points finaux.

NOTE 2 Lorsqu'il n'est pas utilisé en se référant à un asphyxiant spécifique, le terme *DEF* représente la somme des *DEF* pour tous les asphyxiants dans une atmosphère de combustion.

3.22

feu développé

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

[ISO/CEI 13943, définition 80]

3.23

hyperventilation

rythme et/ou profondeur de la respiration supérieur à la normale

3.24

allumage

action d'allumer

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

[ISO/CEI 13943, définition 96]

3.25

incapacitation

impossibilité de réaliser une tâche (liée à l'évacuation en cas d'incendie) causée par l'exposition à des composants toxiques

3.26

irritant, substantif

toxique provoquant une irritation pulmonaire et/ou une irritation sensorielle

[ISO/CEI 13943, définition 107]

3.27

concentration létale 50, *LC₅₀*

concentration ou fraction volumique de gaz ou d'effluent du feu calculée de manière statistique à partir des données d'exposition pour provoquer la létalité pour 50 % des animaux utilisés pour les essais dans les limites d'une durée d'exposition et d'une durée à l'issue de l'exposition spécifiées

3.28

dose d'exposition létale 50, *LCt₅₀*

dose d'exposition d'un composant toxique qui, inhalée, cause une létalité de 50 % sur une population de la même espèce et exposée aux mêmes conditions expérimentales

3.20**fractional effective concentration, *FEC***

ratio of the concentration of an irritant to that expected to produce a given effect on an exposed subject of average susceptibility

NOTE 1 As a concept, *FEC* may refer to any effect, including incapacitation, lethality or even other endpoints.

NOTE 2 When not used with reference to a specific irritant, the term *FEC* represents the summation of *FEC*s for all irritants in a combustion atmosphere.

3.21**fractional effective dose, *FED***

ratio of the exposure dose for an asphyxiant toxicant to that expected to produce a given effect on an exposed subject of average susceptibility

NOTE 1 As a concept, *FED* may refer to any effect, including incapacitation, lethality or even other endpoints.

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

3.22**fully developed fire**

state of total involvement of combustible materials in a fire

[ISO/IEC 13943, definition 80]

3.23**hyperventilation**

rate and/or depth of breathing which is greater than normal

3.24**ignition**

initiation of combustion

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

[ISO/IEC 13943, definition 96]

3.25**incapacitation**

an inability to perform a task (related to the escape from a fire) caused by exposure to toxicants

3.26**irritant, *noun***

toxicant causing pulmonary irritancy and/or sensory irritancy

[ISO/IEC 13943, definition 107]

3.27**lethal concentration 50, *LC*₅₀**

concentration or volume fraction of gas or fire effluent statistically calculated from exposure data to produce lethality in 50 % of test animals within a specified exposure and post-exposure time

3.28**lethal exposure dose 50, *LCT*₅₀**

exposure dose of a toxicant that, when inhaled, causes lethality in 50 % of a population all of which are the same species and all exposed under the same experimental conditions

3.29

concentration de perte de masse

perte de masse d'un matériau brûlé ou ayant subi une pyrolyse divisée par le volume dans lequel l'effluent qui en résulte est dispersé

3.30

irritation pulmonaire

action de composants toxiques sur l'appareil respiratoire inférieur qui peut donner lieu à une gêne respiratoire (par exemple dyspnée, augmentation du rythme respiratoire)

NOTE Dans les cas graves, une pneumonie ou un œdème pulmonaire (qui peuvent être fatals) peut intervenir quelques heures après l'exposition.

[ISO/CEI 13943, définition 132]

3.31

pyrolyse

partie de la décomposition chimique irréversible provoquée uniquement par une élévation de température

NOTE La pyrolyse peut être accompagnée par une décomposition due à d'autres actions telles qu'une attaque chimique.

[ISO/CEI 13943, définition 133]

3.32

irritation sensorielle

action de composants toxiques sur les yeux et/ou l'appareil respiratoire supérieur produisant une sensation douloureuse, résultant soit d'un stimulus direct de récepteurs spécialisés, soit d'un dommage tissulaire

[ISO/CEI 13943, définition 148]

3.33

essai à petite échelle

essai effectué sur un objet de petites dimensions

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

[ISO/CEI 13943, définition 149]

3.34

fumée

partie visible des effluents du feu

[ISO/CEI 13943, définition 150]

3.35

danger toxique

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

[ISO/CEI 13943, définition 168]

3.36

potentiel toxique

mesure de la dose d'exposition de composant toxique nécessaire pour obtenir un effet toxique spécifique

NOTE Plus la valeur du potentiel toxique est faible, plus la toxicité est élevée.

[ISO/CEI 13943, définition 169 modifiée]

3.29**mass loss concentration**

mass lost from burnt or pyrolysed material divided by the volume into which the resulting effluent is dispersed

3.30**pulmonary irritancy**

action of toxicants on the lower respiratory tract which may result in breathing discomfort (e.g. dyspnoea, increase in respiratory rate)

NOTE In severe cases, pneumonitis or pulmonary oedema (which may be fatal) may occur some hours after exposure.

[ISO/IEC 13943, definition 132]

3.31**pyrolysis**

that part of the irreversible chemical decomposition caused solely by a rise in temperature

NOTE Pyrolysis may be accompanied by decomposition due to other actions such as chemical attack.

[ISO/IEC 13943, definition 133]

3.32**sensory irritancy**

action of toxicants on the eyes and/or upper respiratory tract causing a painful sensation, either by a direct stimulus of specialized receptors or as a result of tissue damage

[ISO/IEC 13943, definition 148]

3.33**small-scale test**

test performed on an item of small dimensions

NOTE A test performed on a test specimen of which the maximum dimension is less than 1 m is usually called a "small-scale test".

[ISO/IEC 13943, definition 149]

3.34**smoke**

visible part of fire effluent

[ISO/IEC 13943, definition 150]

3.35**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]

3.36**toxic potency**

measure of the exposure dose of toxicant required to elicit a specific toxic effect

NOTE The smaller the value of the toxic potency, the greater the toxicity.

[ISO/IEC 13943, definition 169, modified]

3.37**risque toxique**

résultat de la multiplication de

- la probabilité d'apparition d'un risque toxique dans un processus ou un état technique, et
- de la conséquence et de l'importance attendues des lésions dans l'apparition du danger toxique

NOTE Le risque toxique est une partie du risque dû à l'incendie.

[ISO/CEI 13943, définition 170]

3.38**composant toxique**

substance qui provoque un effet nuisible sur un organisme vivant

[ISO/CEI 13943, définition 171]

3.39**toxicité**

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

[ISO/CEI 13943, définition 172]

3.40**fraction volumique (d'un gaz dans un mélange gazeux)**

rapport x/y , où x est le volume que le gaz seul occuperait à 25 °C sous 0,1 MPa et où y est le volume que le mélange gazeux occuperait à 25 °C sous 0,1 MPa

NOTE 1 Généralement exprimé en parties par million et souvent décrit de manière erronée comme une concentration.

NOTE 2 La concentration d'un gaz dans un mélange gazeux à une température T et à une pression P peut être calculée à partir de sa fraction volumique (en prenant comme hypothèse un comportement idéal du gaz) en multipliant la fraction volumique par la densité du gaz à la température T et à la pression P .

4 Principes d'évaluation du risque toxique**4.1 Introduction**

L'évaluation du risque toxique est la discipline qui prédit le degré attendu de lésions sur les personnes et de perte de biens résultant de l'action du feu. L'évaluation du risque toxique est la branche de l'évaluation d'incendie qui s'occupe de l'effet des effluents du feu qui sont inhalés sur les personnes exposées. Une vue initiale de l'évaluation du danger et un cadre de mise en œuvre ont été présentés par Fowell [1]¹. Une description complète des antécédents techniques de l'évaluation des dangers est donnée dans la CEI 60695-1-1. L'ISO/TR 9122-5 présente les travaux actuels.

L'évaluation du risque toxique essaie de quantifier le potentiel de dommage qui résulte de l'exposition aux produits toxiques de la combustion. Jusqu'à une période récente, les études étaient généralement fondées sur des calculs de durées d'exposition provoquant la mort. Cependant, une importance croissante est accordée au calcul des durées d'exposition qui provoquent l'incapacitation et qui rendent la victime incapable d'échapper aux effets du feu.

Certaines espèces toxiques agissent comme des asphyxiants, par exemple le monoxyde de carbone et le cyanure d'hydrogène, d'autres agissent comme des irritants, par exemple l'acroléine et le dioxyde de soufre. Ces deux types de composants toxiques sont traités de manière différente. Les effets d'un asphyxiant dépendent de la dose accumulée, connue comme la dose d'exposition, tandis que les effets d'un irritant dépendent du niveau de concentration atteint.

¹ Les chiffres placés entre crochets renvoient à la bibliographie.

3.37**toxic risk**

result of the multiplication of

- the probability of occurrence of a toxic hazard to be expected in a given technical operation or state, and
- the consequence or extent of injury to be expected on the occurrence of a toxic hazard

NOTE The toxic risk is part of the fire risk.

[ISO/IEC 13943, definition 170]

3.38**toxicant**

substance which causes an adverse effect upon a living organism

[ISO/IEC 13943, definition 171]

3.39**toxicity**

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

[ISO/IEC 13943, definition 172]

3.40**volume fraction (of a gas in a gas mixture)**

the ratio x/y , where x is the volume that the gas alone would occupy at 25 °C and 0,1 MPa, and y is the volume that the gas mixture would occupy at 25 °C and 0,1 MPa

NOTE 1 Usually expressed in parts per million, and often wrongly described as a concentration.

NOTE 2 The concentration of a gas in a gas mixture at temperature T and at pressure P can be calculated from its volume fraction (assuming ideal gas behaviour) by multiplying the volume fraction by the density of the gas at temperature T and at pressure P .

4 Principles of toxic hazard assessment**4.1 Introduction**

Fire hazard assessment is the discipline of predicting the expected degree of human harm or property loss resulting from the action of a fire. Toxic hazard assessment is the branch of fire hazard assessment which addresses the effect of inhaled fire effluent on those exposed. An initial view of hazard assessment and a framework for implementation has been presented by Fowell [1]¹. A comprehensive description of the technical background for hazard assessment is presented in IEC 60695-1-1. A review of current work is to be found in ISO/TR 9122-5.

Toxic hazard assessment attempts to quantify the potential for harm resulting from exposure to the toxic products of combustion. Until recently, studies have tended to be based on calculations of exposure times which cause death. However, the emphasis is moving to the calculation of exposure times which cause incapacitation and which render the victim unable to escape from the effects of the fire.

Some toxic species act as asphyxiants, e.g. carbon monoxide and hydrogen cyanide, and others act as irritants, e.g. acrolein and sulphur dioxide. These two types of toxicants are treated differently. The effects of an asphyxiant depend upon the accumulated dose, known as the exposure dose, whereas the effects of an irritant depend on whether a threshold concentration has been reached.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

4.2 Dose d'exposition

Pour la plupart des composants asphyxiants des effluents du feu, la sévérité de l'effet toxique est approximativement proportionnelle à la fois à la concentration et à la durée d'exposition. Ainsi, si la concentration de l'asphyxiant est doublée et que le temps d'exposition est divisé par deux, l'effet toxique sur un organisme exposé est généralement à peu près le même [2]. Pour certains composants des effluents du feu, la réponse toxique peut être plus complexe. Pour avoir plus d'informations, l'utilisateur est invité à se reporter à l'ISO/TR 9122-5.

Ce comportement se reflète dans l'utilisation d'un paramètre connu comme la dose d'exposition qui est liée à la quantité de composant toxique provenant de l'effluent du feu qui peut être inhalée. Ce paramètre est calculé par l'intégration de la concentration, C , par rapport au temps, t .

$$\text{Dose d'exposition} = \int C \cdot dt \quad (1)$$

Si la concentration est constante, la dose d'exposition est simplement le produit de la concentration et de la durée d'exposition, Ct , mais ce n'est normalement pas le cas car au cours des incendies, les concentrations de composants toxiques varient dans le temps.

NOTE Les toxicologues utilisent quelquefois le symbole Ct pour la dose d'exposition, même si elle est normalement calculée par intégration.

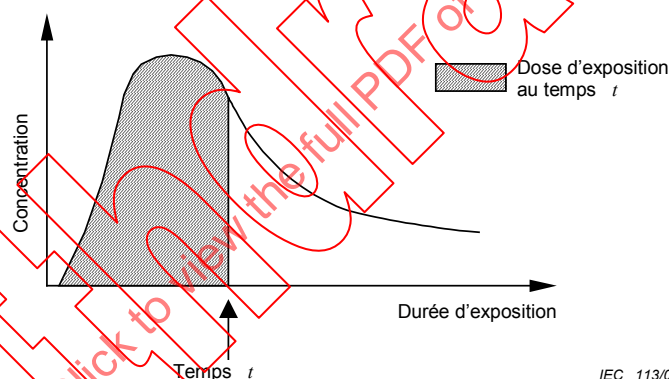


Figure 1 – Dose d'exposition en fonction de la durée et de la concentration

L'unité utilisée pour la dose d'exposition est la concentration multipliée par la durée, généralement exprimée en grammes par mètre cube multiplié par le temps en minutes ($\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$). Parfois, la concentration est exprimée de manière incorrecte comme étant une fraction volumique (généralement en parties par millions) et les doses d'exposition sont alors indiquées en unités de $10^{-6} \cdot \text{min}$.

NOTE L'utilisation des fractions volumiques suppose que le mélange gazeux est à une température de 25 °C et à une pression de 0,1 MPa. La concentration du composant toxique peut être calculée en multipliant la fraction volumique par la densité du composant toxique pur à 25 °C et 0,1 MPa.

Chaque élément qui contribue à l'effluent du feu possédera sa propre courbe de concentration en fonction de la durée; et dans de nombreuses études, toutes les espèces toxiques significatives sont examinées de manière indépendante, et leurs effets sont ensuite ajoutés. Cette approche est connue comme le «modèle de gaz toxique».

Une autre approche consiste à considérer l'effluent du feu provenant d'un matériau ou d'un produit donné comme un composant toxique unique (si sa puissance toxique est connue ou peut être estimée). Dans ce cas, la dose d'exposition dépend de la durée d'exposition et d'un paramètre connu sous le terme de concentration de perte de masse. Les différents matériaux ou produits sont examinés de manière indépendante et leurs effets sont additionnés. Cette approche est connue comme le «modèle de perte de masse».

4.2 Exposure dose

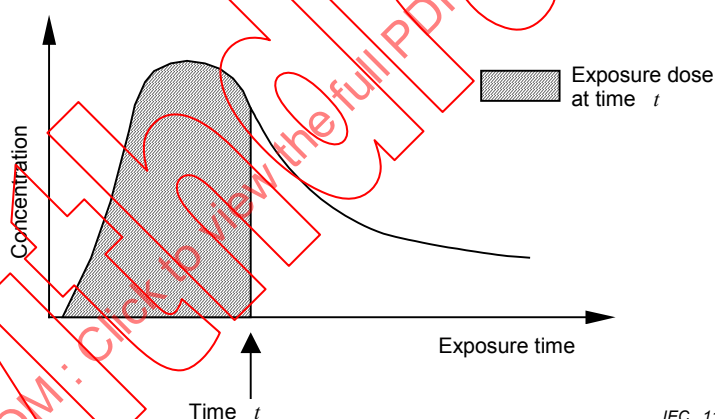
For most asphyxiant components of fire effluent, the severity of the toxic effect is roughly proportional to both the concentration and the time of exposure. Thus, if the concentration of asphyxiant is doubled and the exposure time is halved, the toxic effect on an exposed organism is usually about the same [2]. For some fire effluent components, the toxic response may be more complex. For more information, the user is referred to ISO/TR 9122-5.

This behaviour is reflected in the use of a parameter known as the exposure dose which is related to the amount of toxicant available for inhalation from the fire effluent. It is calculated by integration of the concentration, C , with respect to time, t .

$$\text{Exposure dose} = \int C \cdot dt \quad (1)$$

If the concentration is constant the exposure dose is simply the product of the concentration and the exposure time, Ct , but this is not normally the case because in fires the concentrations of toxicants vary with time.

NOTE Toxicologists sometimes use the symbol Ct for exposure dose even though it is normally calculated by integration.



IEC 113/04

Figure 1 – Exposure dose as a function of time and concentration

The units of exposure dose are concentration multiplied by time, usually expressed as grams per cubic metre times minutes ($\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$). Sometimes the concentration is expressed, incorrectly, as a volume fraction (usually in parts per million) and exposure doses are then quoted in units of $10^{-6} \cdot \text{min}$.

NOTE The use of volume fractions makes an assumption that the gas mixture is at a temperature of 25 °C and at a pressure of 0,1 MPa. The concentration of the toxicant can be calculated by multiplying the volume fraction by the density of the pure toxicant at 25 °C and 0,1 MPa.

Each contributor to the fire effluent will have its own concentration-time curve, and in many studies all the significant toxic species are considered independently and then their effects are summed. This approach is known as the “toxic gas model”.

An alternative approach is to consider the fire effluent from a given material or product as a single toxicant (if its toxic potency is known or can be assumed). In this case the exposure dose is a function of the exposure time and a parameter known as the mass loss concentration. The different materials or products are considered independently and then their effects are summed. This approach is known as the “mass loss model”.

4.3 Détermination des données de concentration en fonction du facteur temps

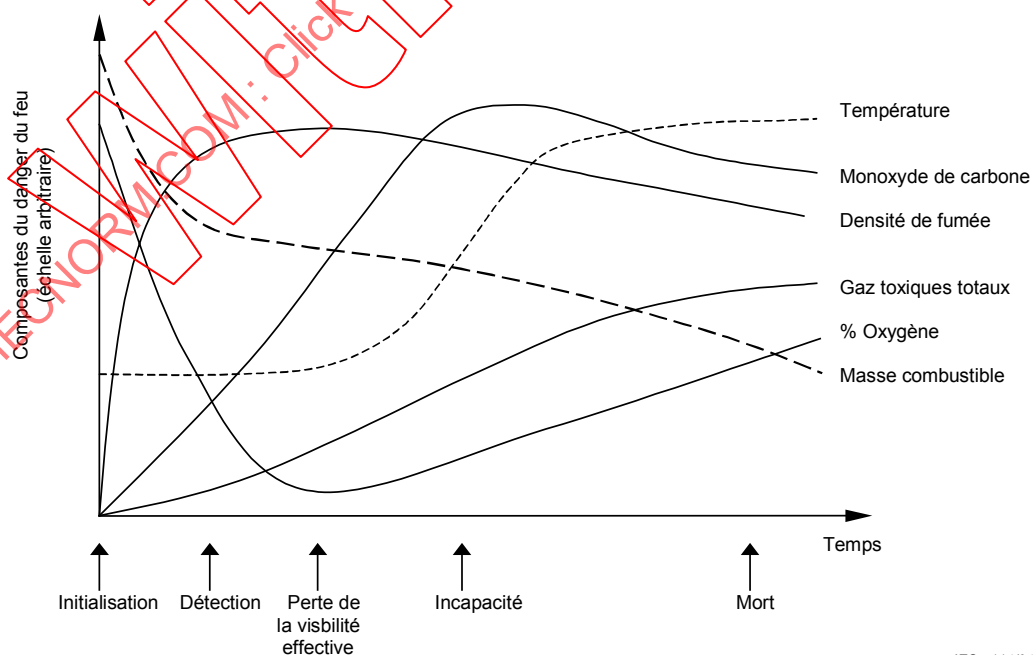
Il existe deux manières de déterminer les données de concentration en fonction du facteur temps:

- par une mesure directe dans une simulation en vraie grandeur du scénario de feu; ou
- par le calcul de la vitesse de perte de masse des combustibles dans un modèle de scénario feu.

La méthode de calcul peut prendre deux formes. Pour des situations simples impliquant un ou deux objets en combustion, des calculs à la main sont souvent appropriés. Un tel exemple est présenté à l'Annexe B. Dans d'autres cas, l'approche consiste souvent à utiliser des modèles mathématiques informatisés. Ces modèles ont été développés jusqu'à présent pour des environnements simples et ils nécessitent généralement comme données d'entrée non seulement les caractéristiques du scénario feu mais aussi la vitesse de perte de masse de tous les produits combustibles exposés au feu, y compris les produits électrotechniques.

La perte de masse nette pour un produit donné commence lorsque ses conditions d'allumage précédemment déterminées (flux radiant ou température) sont atteintes. La vitesse de perte de masse est proportionnelle à la surface exposée et à la quantité de chaleur provenant du feu qui atteint la surface. La constante de proportionnalité est déterminée pour chaque produit par des mesures en laboratoire de la vitesse de perte de masse par unité de surface exposée à une série de flux radiants connus. La perte de masse cesse dès que les calculs montrent que tous les combustibles ont été consommés.

En utilisant les vitesses de perte de masse et les informations propres au scénario comme données d'entrée, les codes informatiques prennent en compte les effets de la structure, de la ventilation et de l'emplacement de la victime et calculent la température et les concentrations des effluents à différents moments successifs à l'emplacement choisi. Le comportement en fonction de la durée de différents aspects du danger du feu peut être obtenu en sortie comme illustré à la Figure 2.



IEC 114/04

Figure 2 – Composantes du danger du feu en fonction de la durée

4.3 Determination of concentration-time data

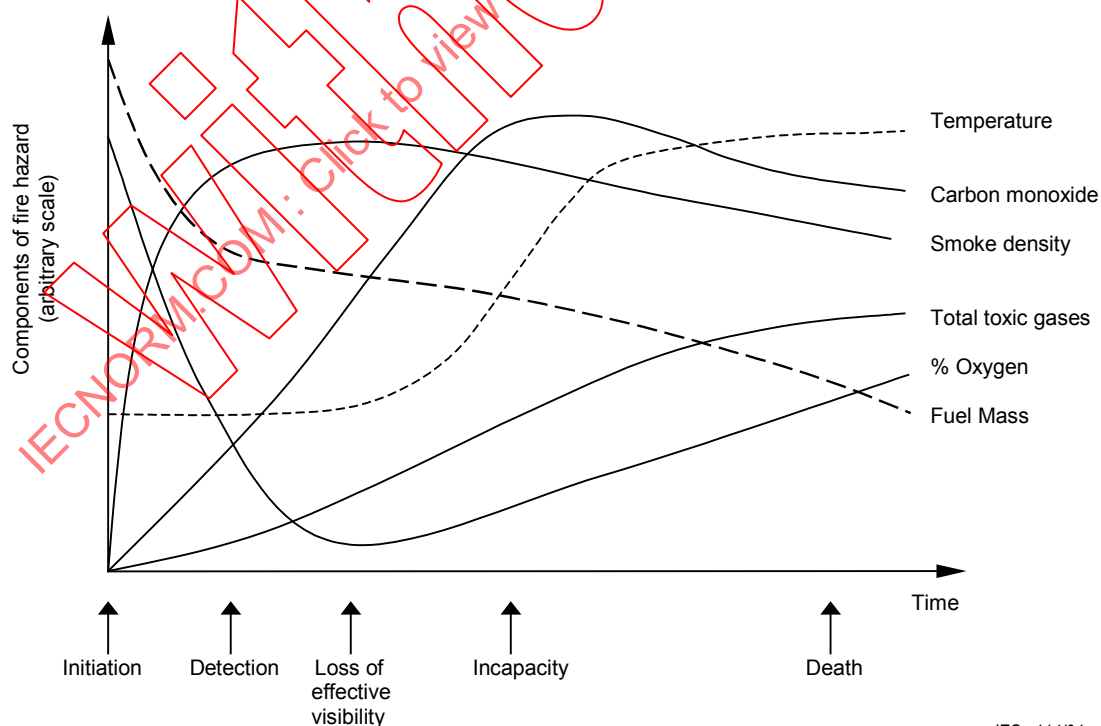
There are two ways to determine concentration-time data:

- a) by direct measurement in a full-scale simulation of the fire scenario; or
- b) by computation of the mass loss rate of the fuels in a model fire scenario.

The computational method can take two forms. For simple situations involving one or two burning items, hand calculations are often adequate. One such example is presented in Annex B. In other cases, the approach is often to make use of computer-based mathematical models. These models have so far been developed for simple environments and usually require as input not only the characteristics of the fire scenario, but also the time-based mass loss rate of all combustible products exposed to the fire, including electrotechnical products.

Net mass loss for a given product begins when its previously determined ignition conditions (radiant flux or temperature) are reached. The mass loss rate is proportional to the exposed surface area and the amount of heat reaching the surface from the fire. The proportionality constant is determined for each product by laboratory measurements of the mass loss rate per unit of exposed surface area at a series of known radiant fluxes. Mass loss ceases when all the fuel has been calculated to have been consumed.

Using mass loss rates and scenario specific information as input, computer codes take into account the effects of the structure, ventilation and victim location, and calculate effluent temperature and concentrations at successive times at the selected location. Time dependent behaviour of various aspects of fire hazard can be obtained as output as illustrated in Figure 2.



IEC 114/04

Figure 2 – Time-dependent components of fire hazard

4.4 Asphyxiants et dose effective fractionnelle, *DEF*

4.4.1 Introduction

La puissance toxique d'un composant asphyxiant est caractérisée par la valeur de la dose d'exposition nécessaire pour produire un effet toxique observé. La dose d'exposition du composant toxique nécessaire pour produire un effet défini dans 50 % d'une population exposée est appelée la «dose d'exposition effective 50», ECt_{50} . Plus la valeur ECt_{50} est faible, plus la toxicité est élevée. Le même principe s'applique aux gaz seuls, aux mélanges de gaz et aux effluents du feu, même lorsque la composition chimique n'est pas connue.

L'évaluation du risque toxique comporte le calcul de la dose d'exposition, généralement en fonction du temps, et la division par la dose d'exposition effective 50. Ce rapport est la dose effective fractionnelle ou *DEF* [3].

$$DEF = \frac{\text{dose d'exposition}}{\text{dose d'exposition effective}} = \frac{\int C \cdot dt}{ECt_{50}} \quad (2)$$

Le numérateur, la dose d'exposition, est déterminé par le comportement au feu du produit et le scénario de feu. Le dénominateur, la dose d'exposition effective 50, ECt_{50} , est le seul endroit dans l'expression où apparaît la puissance toxique. Les données de la puissance toxique sont examinées plus en détail à l'Article 6. Lorsque la dose d'exposition à l'emplacement de la victime est égale à la dose d'exposition effective 50 (c'est-à-dire lorsque $DEF = 1$), l'effet défini, tel que l'incapacité ou la mort, est supposé se produire.

Comme cela est décrit ci-dessus, il existe deux approches distinctes, mais étroitement liées, pour estimer la dose d'exposition et la *DEF* dans des situations d'incendie. La première consiste à considérer l'effluent du feu comme un mélange de composants toxiques; elle est appelée «modèle de gaz toxique». La seconde consiste à considérer l'effluent comme étant composé de contributions provenant de la combustion des divers produits et matériaux; cette approche est connue sous le nom de «modèle de perte de masse».

4.4.2 Propriétés de la *DEF*

La *DEF* est une quantité qui dépend du temps. Ses composantes principales sont

- le type et la dimension de l'incendie;
- la durée d'exposition à l'effluent du feu et l'emplacement relatif des personnes exposées; et
- le volume du compartiment dans lequel l'effluent est dispersé.

Pour un scénario donné, la *DEF* totale est la somme de la contribution toxique de tous les composants de l'effluent du feu. Chaque contribution de composant d'effluent, f_i , est donnée à son tour par

$$f_i = \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[ECt_{50}]_i} = \frac{\text{dose d'exposition du composant de l'effluent, } i}{\text{dose effective du composant de l'effluent, } i} \quad (3)$$

et la *DEF* totale = $f_1 + f_2 + f_3 + \dots$ (voir la Figure 3).

Cela est vrai aussi bien lorsque les éléments qui interviennent sont des gaz individuels comme dans le modèle de gaz toxique que pour des objets différents en combustion comme dans le cas du modèle de perte de masse.

4.4 Asphyxiants and the fractional effective dose, *FED*

4.4.1 Introduction

The toxic potency of an asphyxiant component is characterized by the size of the exposure dose required to produce an observed toxic effect. The exposure dose of the toxicant required to produce a defined effect in 50 % of an exposed population is called the effective exposure dose 50, ECt_{50} . The lower the ECt_{50} value, the greater the toxicity. This same principle applies to single gases, mixtures of gases, and to fire effluents, even when the chemical composition is not known.

Toxic hazard assessment involves the computation of the exposure dose, usually as a function of time, and division by the effective exposure dose 50. This ratio is the fractional effective dose, or *FED* [3].

$$FED = \frac{\text{exposure dose}}{\text{effective exposure dose}} = \frac{\int C \cdot dt}{ECt_{50}} \quad (2)$$

The numerator, the exposure dose, is determined by the burning behaviour of the product and the fire scenario. The denominator, the effective exposure dose 50, ECt_{50} , is the only place in the expression where toxic potency appears. Toxic potency data are discussed further in Clause 6. When the exposure dose at the victim's location equals the effective exposure dose 50 (i.e. when $FED = 1$) the defined effect, such as incapacity or death, is deemed to occur.

As described above, there are two distinct, but closely-related, approaches to estimating exposure dose and the *FED* in fire situations. The first is to view the fire effluent as a mixture of toxic components; this is called the "toxic gas model". The second is to view the effluent as composed of contributions from the various burning products and materials; this approach is known as the "mass loss model".

4.4.2 Properties of the *FED*

The *FED* is a time-dependent quantity. Its principle determinants are

- the type and size of the fire;
- the time of exposure to the fire effluent and the relative location of those exposed; and
- the volume of the compartment into which the effluent is dispersed.

For a given scenario, the total *FED* is the sum of the toxic contribution of all components of the fire effluent. Each effluent component's contribution, f_i , is in turn given by

$$f_i = \frac{\left[\int C \cdot dt \right]_i}{[ECt_{50}]_i} = \frac{\text{exposure dose of effluent component, } i}{\text{effective dose of effluent component, } i} \quad (3)$$

and the total $FED = f_1 + f_2 + f_3 + \dots$ (see Figure 3).

This is true either when the contributors are individual gases as in the toxic gas model, or when the contributors are different burning items as in the mass loss model.

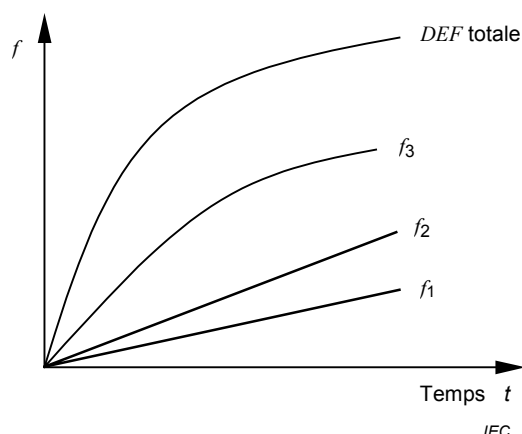


Figure 3 – DEF totale et contributions, en fonction de la durée

4.4.3 Utilisation de la DEF

Les utilisations de la DEF incluent la détermination de ce qui suit:

- le moment auquel l'atmosphère devient instable (cela exige que la DEF ne dépasse pas une valeur prédéterminée choisie pour assurer le maintien de la continuité de l'opération, d'évacuation ou de secours);
- comparaisons des matériaux ou des produits;
- comparaisons avec une référence, par exemple un matériau normalisé de référence ou un scénario de feu de référence.

4.5 Irritants et concentration effective fractionnelle, CEF

L'irritation sensorielle/du système respiratoire supérieur stimule les récepteurs nerveux des yeux, du nez, de la gorge et de l'appareil respiratoire supérieur. Ces effets qui paraissent liés uniquement à la concentration vont de manière continue du picotement des yeux et de la gêne de l'appareil respiratoire supérieur à une douleur importante.

Le principe de base pour l'évaluation de la composante de gaz irritante de l'analyse de risque toxique ne concerne que la concentration de chaque irritant. Les concentrations effectives fractionnelles (CEF) sont déterminées pour chaque irritant à chaque palier discret de temps. Le moment où leur somme dépasse une valeur de seuil spécifiée représente le temps disponible pour s'échapper par rapport au critère de sécurité choisi.

$$CEF = \sum \left[\frac{\text{concentration du gaz irritant}}{\text{concentration de seuil}} \right]_i = \sum \frac{[C]_i}{F_i} \quad (4)$$

où

$[C]_i$ est la concentration (ou la fraction volumique) du gaz irritant, i ;

F_i est la concentration de seuil (ou la fraction volumique de seuil) du gaz irritant, i .

Les fractions volumiques des gaz irritants qui sont supposées gravement compromettre la capacité d'un occupant à engager une action effective pour s'échapper (valeurs F) pour certains des irritants les plus importants sont indiquées à l'Annexe C.

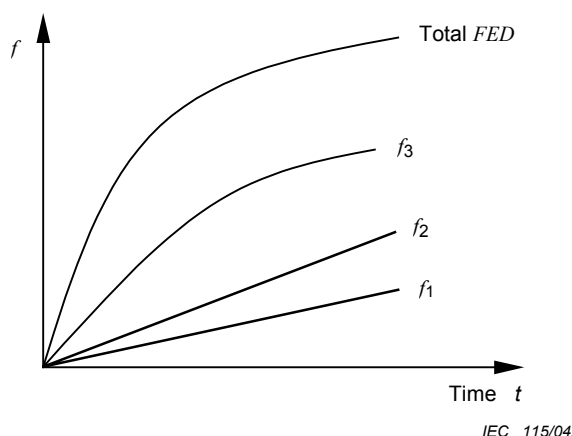


Figure 3 – Total *FED* and contributors, as a function of time

4.4.3 Uses of the *FED*

The uses of the *FED* include the determination of the following:

- the time at which the atmosphere becomes untenable (this requires that the *FED* does not exceed a predetermined value chosen to provide tenability for continuity of operation, escape or rescue);
- comparisons of materials or products;
- comparisons with a standard, e.g. a reference standard material or a reference fire scenario.

4.5 Irritants and the fractional effective concentration, *FEC*

Sensory/upper respiratory irritation stimulates nerve receptors in the eyes, nose, throat and upper respiratory tract. Appearing to be related only to concentration, the effects lie on a continuum from mild eye and upper respiratory discomfort to severe pain.

The basic principle for assessing the irritant gas component of toxic hazard analysis involves only the concentration of each irritant. Fractional effective concentrations (*FECs*) are determined for each irritant at each discrete increment of time. The time at which their sum exceeds a specified threshold value represents the time available for escape relative to chosen safety criteria.

$$FEC = \sum \left[\frac{\text{irritant gas concentration}}{\text{threshold concentration}} \right]_i = \sum \frac{[C]_i}{F_i} \quad (4)$$

where

$[C]_i$ is the concentration (or volume fraction) of irritant gas, i ;

F_i is the threshold concentration (or threshold volume fraction) of irritant gas, i .

The volume fractions of irritant gases that are expected to seriously compromise an occupant's ability to take effective action to accomplish escape (F values) for some of the more important irritants are listed in Annex C.

4.6 Dioxyde de carbone

A faible concentration, le dioxyde de carbone n'est pas toxique mais il provoque une hyperventilation et augmente ainsi la toxicité effective d'autres effluents du feu. Certaines formules pour le calcul des valeurs *DEF* prennent cet élément en compte – voir ISO 13344 et ISO/TS 13571.

4.7 Appauvrissement en oxygène

De faibles concentrations en oxygène sont nocives et certaines formules pour le calcul des valeurs *DEF* prennent cet élément en compte - voir ISO 13344 et [7].

4.8 Contrainte thermique

La contrainte thermique peut causer à la fois l'incapacitation et la mort. La contrainte thermique semble agir comme un composant toxique additionnel [7] et un terme de contrainte thermique peut être ajouté au calcul de la *DEF* – voir ISO/TS 13571.

4.9 Effets de la stratification et du transport des atmosphères de feu

Les concentrations des effluents du feu sont souvent calculées directement d'après la masse de combustible brûlée par rapport au volume dans lequel l'effluent est dispersé. Des modèles plus perfectionnés prennent en compte les effets de la stratification et du transport sur la concentration d'effluent du feu dans des environnements physiques spécifiques.

5 Méthodes d'évaluation du risque toxique

5.1 Approche générale

L'objectif de l'évaluation du risque toxique est de calculer la *DEF* et/ou la *CEF* associée à un incendie impliquant le produit électrotechnique. La première étape consiste à décrire le produit électrotechnique et la manière dont il est utilisé. Ensuite, les circonstances détaillées dans lesquelles l'incendie a lieu sont décrites. Cela constitue un «scénario de feu». La spécification du scénario inclut l'identification de la structure environnante, la manière dont le feu démarre et dont le produit est atteint, l'emplacement des personnes exposées et comment elles sont sensées être affectées.

L'effet final considéré est généralement la mort ou l'incapacitation telle que le sujet devient incapable de s'échapper de l'incendie.

Il existe souvent plus d'un scénario possible pour un produit électrotechnique donné et un risque toxique distinct est associé à chacun d'eux. Les valeurs *DEF* et/ou *CEF* sont calculées pour chaque scénario identifié.

5.2 Equations utilisées pour prédire la mort

5.2.1 Le modèle de gaz toxique simple

En général, les effets toxiques des composants séparés des effluents s'ajoutent, ainsi la *DEF* est la somme des contributions de tous les composants.

$$DEF_{\text{totale}} = \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[LCt_{50}]_i} \quad (5)$$

4.6 Carbon dioxide

At low concentrations carbon dioxide is not toxic but it does cause hyperventilation and therefore increases the effective toxicity of other fire effluents. Some formulae for calculating *FED* values take this effect into account – see ISO 13344 and ISO/TS 13571.

4.7 Oxygen vitiation

Low levels of oxygen are harmful and some formulae for calculating *FED* values take this effect into account – see ISO 13344 and [7].

4.8 Heat stress

Heat stress can cause both incapacitation and death. Heat stress appears to act like an added toxicant [7], and a heat stress term can be added to the *FED* calculation – see ISO/TS 13571.

4.9 Effects of stratification and transport of fire atmospheres

Concentrations of fire effluents are often calculated directly from the mass of fuel burned relative to the volume into which the effluent is dispersed. More refined models take into account the effects of stratification and transport on fire effluent concentration in specific physical environments.

5 Methods of toxic hazard assessment

5.1 General approach

The objective of toxic hazard assessment is to calculate the *FED* and/or *FEC* associated with a fire involving the electrotechnical product. The first step is to describe the electrotechnical product and how it is used. The detailed circumstances under which the fire occurs is then described. This constitutes a "fire scenario". Specifying the scenario includes identifying the enclosing structure, how the fire starts and how the product becomes involved in the fire, the location of those persons exposed and how they are considered to be affected.

The end effect that is considered is usually either death, or incapacitation such that the subject is rendered unable to escape from the fire.

There is often more than one possible scenario for a given electrotechnical product, and a distinct toxic hazard is associated with each one. For each scenario identified, *FED* and/or *FEC* values are calculated.

5.2 Equations used to predict death

5.2.1 The simple toxic gas model

The toxic effects of the separate effluent components are generally additive, so the *FED* is the sum of the contributions of all the components.

$$FED_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[LCt_{50}]_i} \quad (5)$$

où

$[\int C \cdot dt]_i$ est la dose d'exposition du composant de l'effluent, i ;

$[LCt_{50}]_i$ est la dose d'exposition létale 50 du composant de l'effluent, i .

Comme avec un composant toxique unique, lorsque la DEF totale atteint un, la mort est supposée survenir.

5.2.2 Le modèle N-gaz

Cette utilisation du principe DEF a été désignée par le terme «modèle N-gaz» par le National Institute of Standards and Technology (NIST) [8].

Il tient compte des effets du dioxyde de carbone sur la toxicité du monoxyde de carbone, comme cela a été présenté de manière empirique d'après les études conduites par le NIST. Il tient compte aussi de l'appauvrissement en oxygène, au cas où cela serait significatif.

$$DEF_{\text{totale}} = \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[LCt_{50}]_i} + \frac{m\phi_{CO}}{\phi_{CO_2} - b} + \frac{0,21 - \phi_{O_2}}{0,156} \quad (6)$$

où

ϕ_{CO} est la fraction volumique du monoxyde de carbone;

ϕ_{CO_2} est la fraction volumique du dioxyde de carbone;

m et b sont respectivement la pente et l'intersection de la courbe du monoxyde de carbone et celle du dioxyde de carbone qui décrivent la toxicité croissante du monoxyde de carbone et les augmentations de concentration du dioxyde de carbone;

ϕ_{O_2} est la fraction volumique de l'oxygène.

Pour les fractions volumiques de dioxyde de carbone inférieures à 5 %, $m = -18$ et $b = 0,122$.

Pour les fractions volumiques de dioxyde de carbone supérieures à 5 %, $m = 23$ et $b = -0,039$.

5.2.3 L'effet hyperventilatoire du dioxyde de carbone

L'équation ci-dessous tient compte des effets hyperventilatoires du dioxyde de carbone:

$$DEF_{\text{totale}} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[LCt_{50}]_i} \right\} \times v_{CO_2} + a \quad (7)$$

v_{CO_2} et a sont les facteurs représentés au Tableau 1.

Tableau 1 – Dépendance de v_{CO_2} et de a par rapport à la fraction volumique du dioxyde de carbone

% CO_2	v_{CO_2}	a
$\leq 2,5$	1	0
3,0	1,25	0,1
4,0	1,4	0,2
5,0	1,5	0,25

where

$[\int C \cdot dt]_i$ is the exposure dose of effluent component, i ;

$[LCt_{50}]_i$ is the lethal exposure dose 50 of effluent component, i .

As with a single toxicant, when the total FED reaches unity, death is predicted to occur.

5.2.2 The N-gas model

This use of the FED principle has been termed the "N-gas model" by the National Institute of Standards and Technology (NIST) [8].

It takes into account the effects of carbon dioxide on the toxicity of carbon monoxide, as expressed empirically from studies conducted at NIST. It also takes into account oxygen vitiation, should that be significant.

$$FED_{total} = \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[LCt_{50}]_i} + \frac{m\phi_{CO}}{\phi_{CO_2} - b} + \frac{0,21 - \phi_{O_2}}{0,156} \quad (6)$$

where

ϕ_{CO} is the volume fraction of carbon monoxide;

ϕ_{CO_2} is the volume fraction of carbon dioxide;

m and b are respectively the slope and intercept of the interactive curve of carbon monoxide and carbon dioxide which depicts the increasing toxicity of carbon monoxide as carbon dioxide concentration increases;

ϕ_{O_2} is the volume fraction of oxygen.

For volume fractions of carbon dioxide less than 5 %, $m = -18$ and $b = 0,122$.

For volume fractions of carbon dioxide more than 5 %, $m = 23$ and $b = -0,039$.

5.2.3 The hyperventilatory effect of carbon dioxide

An equation which takes into account the hyperventilatory effects of carbon dioxide is given below:

$$FED_{total} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \cdot dt]_i}{[LCt_{50}]_i} \right\} \times v_{CO_2} + a \quad (7)$$

v_{CO_2} and a are factors as shown in Table 1.

Table 1 – Dependence of v_{CO_2} and a on the volume fraction of carbon dioxide

% CO ₂	v_{CO_2}	a
≤ 2,5	1	0
3,0	1,25	0,1
4,0	1,4	0,2
5,0	1,5	0,25

5.2.4 Valeurs de puissance toxique létale

Les valeurs LCt_{50} utilisées dans les équations (5), (6) et (7) sont données ci-dessous au Tableau 2.

5.2.5 Le modèle de la perte de masse

Dans le modèle de perte de masse, les évaluations du danger du feu sont effectuées sur la base de la contribution massique des produits ou matériaux individuels en combustion. Le terme de concentration de l'effluent dans la dose d'exposition est remplacé par un terme de concentration de perte de masse – voir 4.2.

$$DEF_{\text{totale}} = \sum_{j=1}^k \frac{[\int C \cdot dt]_j}{[LCt_{50}]_j} \quad (8)$$

La somme est appliquée à chacun des matériaux ou produits en combustion k dont les effluents de combustion sont contenus dans l'effluent total du feu. $[LCt_{50}]_j$ est la dose d'exposition létale 50 de l'effluent du $j^{\text{ème}}$ produit, mesurée par un essai de laboratoire sur la toxicité de la combustion dans l'effluent.

Lorsque l'on traite de produits électrotechniques, il est habituel d'utiliser le modèle de perte de masse lorsque le but de l'évaluation du danger du feu est de comparer deux produits électrotechniques ou lorsque le produit électrotechnique contribue pour une part relativement faible au danger total.

Tableau 2 – Quelques valeurs de puissance toxique

(Tirées de l'ISO 13344 et de l'ISO/TR 9122-1 et 9122-5)

Composant toxique	Valeur $LC_{50} \times 10^6$ (30 min d'exposition, valeur de fraction volumique)	Valeur $LCt_{50} \times 10^6$ (min)
Dioxyde de carbone (CO_2)	> 90 000	> 2 700 000
Monoxyde de carbone (CO)	5 700	171 000
Acroléine ($CH_2=CHCHO$)	150	4 500
Formaldéhyde (HCHO)	750	22 500
Cyanure d'hydrogène (HCN)	165	4 950
Oxydes d'azote (NO_x)	170	5 100
Chlorure d'hydrogène (HCl)	3 800	114 000
Fluorure d'hydrogène (HF)	2 900	87 000
Bromure d'hydrogène (HBr)	3 800	114 000
Dioxyde de soufre (SO_2)	1 400	42 000

5.2.5 Lethal toxic potency values

LCt_{50} values used in equations (5), (6) and (7) are given below in Table 2.

5.2.6 The mass loss model

In the mass loss model, fire hazard assessments are made on the basis of the mass contribution of individual burning products or materials. The effluent concentration term in the exposure dose is replaced by a mass loss concentration term – see 4.2.

$$FED_{\text{total}} = \sum_{j=1}^k \frac{[\int C \cdot dt]_j}{[LCt_{50}]_j} \quad (8)$$

The sum is taken over each of the k burning materials or products whose combustion effluents are contained in the total fire effluent. $[LCt_{50}]_j$ is the lethal exposure dose 50 of the effluent from the j^{th} product, measured in a laboratory combustion effluent toxicity test.

When dealing with electrotechnical products it is usual to employ the mass loss model, where the goal of fire hazard assessment is to compare one electrotechnical product with another, or when the electrotechnical product contributes a relatively small part of the total hazard.

Table 2 – Some toxic potency values

(From ISO 13344 and ISO/TR 9122-1 and 9122-5)

Toxicant	LC_{50} value $\times 10^5$ (30 min exposure, volume fraction value)	LCt_{50} value $\times 10^6$ (min)
Carbon dioxide (CO ₂)	> 90 000	> 2 700 000
Carbon monoxide (CO)	5 700	171 000
Acrolein (CH ₂ =CHCHO)	150	4 500
Formaldehyde (HCHO)	750	22 500
Hydrogen cyanide (HCN)	165	4 950
Nitrogen oxides (NO _x)	170	5 100
Hydrogen chloride (HCl)	3 800	114 000
Hydrogen fluoride (HF)	2 900	87 000
Hydrogen bromide (HBr)	3 800	114 000
Sulphur dioxide (SO ₂)	1 400	42 000

5.3 Equations utilisées pour prédire l'incapacité

5.3.1 Modèle de gaz asphyxiant

Le principe de base pour évaluer les asphyxiants pour la détermination du risque toxique de l'incapacitation tient compte de la dose d'exposition de chaque composant toxique, c'est à dire la zone intégrée sous chaque courbe concentration-durée (voir l'ISO/TR 9122-5). Les doses effectives fractionnelles (*DEF*) sont déterminées pour chaque asphyxiant à chaque augmentation discrète de la durée. Le moment où leur somme accumulée dépasse une valeur de seuil spécifiée représente le temps disponible pour s'échapper par rapport au critère de sécurité choisi.

Pour le monoxyde de carbone, la ECt_{50} pour l'incapacitation est de 0,035 min [4].

Pour le cyanure d'hydrogène, la dose incapacitante n'est pas une constante mais elle varie en fonction de la fraction volumique [5]. La *DEF* est calculée en utilisant une expression exponentielle:

$$DEF = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(\phi_{HCN} / 4,3 \times 10^{-5})}{220 \text{ min}} \cdot \Delta t \quad (9)$$

où ϕ_{HCN} est la fraction volumique moyenne du cyanure d'hydrogène sur l'augmentation de la durée Δt .

NOTE Cette équation se fonde sur les données obtenues avec des valeurs de ϕ_{HCN} dans la plage de 30×10^{-6} à 400×10^{-6} .

Pour les fractions volumiques inférieures à 30×10^{-6} , il convient d'utiliser la formule suivante:

$$DEF = \sum_{t_1}^{t_2} (304,4 \text{ min}^{-1} \times \phi_{HCN}) \cdot \Delta t \quad (10)$$

Si la fraction volumique du dioxyde de carbone dépasse 0,02, les doses d'exposition effectives des asphyxiants peuvent être considérées comme augmentées à cause de l'hyperventilation par un facteur de $\exp(\phi_{CO_2} / 0,05)$, où ϕ_{CO_2} est égal à la fraction volumique du dioxyde de carbone (voir ISO/TS 13571).

5.3.2 Modèle de gaz irritant

Les concentrations effectives fractionnelles (*CEF*) sont déterminées pour chaque irritant à chaque palier de temps. Le moment où leur somme dépasse une valeur de seuil spécifiée représente le temps disponible pour s'échapper par rapport au critère de sécurité choisi – voir 4.5 et l'Annexe C.

5.3.3 Modèle de la perte de masse

Dans de nombreux cas, les concentrations des composants toxiques des effluents du feu en fonction de la durée ne peuvent pas être déterminées facilement. Le concept *DEF* de base peut toujours être utilisé en utilisant la perte de masse, volume dans lequel les effluents du feu sont dispersés et des valeurs de puissance toxique létale connues. La moitié de la valeur de LCt_{50} est recommandée comme dose d'exposition approximative lorsqu'on met en relation l'incapacitation et la létalité [6]. Bien qu'elle soit fondée sur des données expérimentales obtenues à partir de l'exposition de rats, cette relation est également supposée appropriée pour l'exposition des personnes – voir ISO/TR 9122-2.

5.3 Equations used to predict incapacity

5.3.1 The asphyxiant gas model

The basic principle for assessing asphyxiants for the determination of the toxic hazard of incapacitation involves the exposure dose of each toxicant, i.e. the integrated area under each concentration-time curve (see ISO/TR 9122-5). Fractional effective doses (*FEDs*) are determined for each asphyxiant at each discrete increment of time. The time at which their accumulated sum exceeds a specified threshold value represents the time available for escape relative to chosen safety criteria.

For carbon monoxide, the ECt_{50} for incapacitation is 0,035 min [4].

For hydrogen cyanide, the incapacitating dose is not a constant, but varies depending on the volume fraction [5]. The *FED* is calculated using an exponential expression

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(\phi_{\text{HCN}} / 4,3 \times 10^{-5})}{220 \text{ min}} \cdot \Delta t \quad (9)$$

where ϕ_{HCN} is the average volume fraction of hydrogen cyanide over the time increment Δt .

NOTE This equation is based on data obtained with values of ϕ_{HCN} in the range 30×10^{-6} to 400×10^{-6} .

For volume fractions less than 30×10^{-6} the following formula should be used

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} (304,4 \text{ min}^{-1} \times \phi_{\text{HCN}}) \cdot \Delta t \quad (10)$$

If the volume fraction of carbon dioxide exceeds 0,02, the effective exposure doses of asphyxiants can be considered to be increased because of hyperventilation by a factor of $\exp(\phi_{\text{CO}_2} / 0,05)$, where ϕ_{CO_2} equals the volume fraction of carbon dioxide (see ISO/TS 13571).

5.3.2 The irritant gas model

Fractional effective concentrations (*FECs*) are determined for each irritant at each discrete increment of time. The time at which their sum exceeds a specified threshold value represents the time available for escape relative to chosen safety criteria – see 4.5 and Annex C.

5.3.3 The mass loss model

Concentrations of fire effluent toxicants as a function of time cannot readily be determined in many cases. The basic *FED* concept can still be employed using mass loss, the volume into which the fire effluents are dispersed and known lethal toxic potency values. One-half of the LCt_{50} value is recommended as an approximate exposure dose when relating incapacitation to lethality [6]. Although based on experimental data obtained from exposure of rats, this relationship is also expected to be appropriate for human exposure – see ISO/TR 9122-2.

6 Valeurs de puissance toxique

6.1 Valeurs génériques de puissance toxique

Il est souvent possible d'établir des premières approximations pour l'évaluation du danger en utilisant des valeurs moyennes ou génériques de puissance toxique car les effluents du feu provenant de la plupart des matériaux sont les mêmes, à un ordre de grandeur près.

Il a été suggéré qu'une valeur LC_{t50} de $900 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ peut être utilisée pour des feux bien ventilés, avant embrasement éclair, et qu'une valeur de $450 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ peut être utilisée pour les incendies en air vicié après embrasement éclair [5] et [6]. Pour l'évaluation de l'évacuation des occupants, les valeurs de $450 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ et $220 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivement, sont recommandées dans l'ISO/TS 13571. La validité de cette convention peut être vérifiée en recalculant le résultat d'une évaluation du risque toxique là où les valeurs de puissance toxique diffèrent de la valeur générale d'un facteur 2 ou 3. S'il en résulte une différence significative dans le temps potentiel d'évacuation, il peut être avantageux de chercher des données spécifiques de puissance toxique pour les matériaux et les produits électrotechniques en question.

6.2 Valeurs de puissance toxique obtenues à partir d'analyses chimiques

Les doses effectives létales des gaz d'incendie majeurs sont connues grâce à des essais biologiques antérieurs qui ont fait l'objet de publications. Certaines valeurs sont données au Tableau 2 (voir 5.2.4). Ces données permettent une évaluation du danger fondée sur les analyses chimiques des effluents du feu. Cette approche est de plus en plus largement acceptée grâce aux progrès réalisés dans la connaissance des effets toxiques aussi bien des gaz individuels d'incendie que de certains effluents du feu à composants multiples. Elle évite également l'utilisation routinière d'animaux, en partant du principe que les puissances toxiques de tous les gaz individuels communs produits dans les incendies ont déjà été déterminées par l'exposition d'animaux. Avec des données analytiques suffisantes, elle permet le traitement de la puissance toxique comme valeur unique pour une étape donnée d'incendie.

6.3 Valeurs de puissance toxique obtenues à partir d'essais sur des animaux

Toutes les puissances toxiques sont en définitive basées sur l'exposition des animaux (généralement des rats ou des souris) à une concentration connue d'un gaz toxique ou d'un effluent de feu et sur l'observation du comportement en fonction de la durée. Un produit ou matériau type, lorsqu'il brûle, produit un mélange complexe de substances toxiques. Ces produits de combustion peuvent interagir chimiquement entre eux et biologiquement après inhalation. Brûler le matériau et exposer les animaux à l'effluent englobe les effets de chacune de ces interactions, dont la plupart ne sont pas prévisibles à partir d'analyses chimiques.

7 Limitations de l'interprétation des résultats d'essai de toxicité

Les seuls résultats d'essai de puissance toxique constituent une base inappropriée pour la détermination du danger du feu et, par conséquent, de la sécurité au feu. Ils ne doivent pas être interprétés directement pour classer les matériaux ou les produits électrotechniques. Il convient de ne pas incorporer les limites de puissance toxique dans les spécifications de matériaux et de produits. Il convient de ne tirer aucune conclusion et de ne prendre aucune décision concernant la sécurité avant que l'ensemble des données des essais d'incendie et de scénario de feu pertinentes aient été incorporées dans une structure appropriée d'évaluation quantitative du danger.

Dans le passé, il était habituel de promouvoir des essais de toxicité comme un moyen d'identifier les matériaux qui, soumis à une décomposition thermique, produisaient des effluents de combustion caractérisés par une puissance toxique anormalement élevée. Cependant, il n'existe à l'heure actuelle (2003), aucun exemple enregistré d'incendie dans lequel le danger serait le résultat d'une puissance toxique extrême.

6 Toxic potency values

6.1 Generic values of toxic potency

It is often possible to carry out first approximations for hazard assessment using average or generic toxic potency values because the fire effluents from most materials are, within approximately an order of magnitude, the same.

It has been suggested that an LCt_{50} value of $900 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ can be used for well-ventilated, pre-flashover fires and that a value of $450 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ can be used for vitiated post-flashover fires [5] and [6]. For evaluation of occupants' escape, values of $450 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$ and $220 \text{ g}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively, are recommended in ISO/TS 13571. The validity of this convention can be checked by recalculating the outcome of a toxic hazard assessment where the toxic potency values used differ from the general value by a factor of 2 or 3. If a significant difference in the potential escape time results, it may be advantageous to seek specific toxic potency data for electrotechnical materials and the products in question.

6.2 Toxic potency values obtained from chemical analyses

The lethal effective doses of the major fire gases are known from previous biological tests and are available from published sources. Some values are given in Table 2 (see 5.2.4). These data support hazard assessment based on chemical analyses of fire effluents. This approach is becoming more widely favoured because of increasing knowledge of the toxic effects of both individual fire gases and certain multicomponent fire effluents. Also, it avoids routine use of animals, relying upon the fact that the toxic potencies of all common individual gases generated in fires have already been determined by animal exposure. With sufficient analytical data, it permits toxic potency to be treated as single-valued for a given stage of fire.

6.3 Toxic potency values obtained from animal tests

All toxic potencies are ultimately based on exposure of animals (usually rats or mice) to a known concentration of a toxic gas or fire effluent and the observation of behaviour as a function of time. A typical product or material, when burning, produces a complex mixture of toxic substances. These combustion products can interact chemically with one another, and can further interact biologically once inhaled. Burning the material and exposing animals to the effluent captures the effects from any such interactions, most of which are not predictable from chemical analysis.

7 Limitations on the interpretation of toxicity test results

Toxic potency test results alone are an inadequate basis on which to determine fire hazard and, therefore, fire safety. They are not to be interpreted directly to rank order materials or electrotechnical products. Limits for toxic potency should not be incorporated into material and product specifications. No conclusions should be drawn or safety decisions made until after all relevant fire test and fire scenario data have been incorporated into an appropriate quantitative hazard assessment framework.

In the past it was common to promote toxicity testing as a means of identifying materials which, when subjected to thermal decomposition, yield combustion effluents characterized by unusually high toxic potency. However, there is at present (2003) no recorded instance of a fire in which the hazard resulted from extreme toxic potency.

La présence ou l'absence d'éléments chimiques spécifiques tels que l'azote, les halogènes ou le phosphore dans le produit n'est pas, en elle-même, un indicateur du niveau de risque toxique létal. C'est la raison pour laquelle il convient de ne tirer aucune conclusion de la présence ou de l'absence d'une espèce chimique toxique particulière dans l'effluent du feu. Des conclusions sur la signification de la menace présentée par un incendie et son effluent nécessitent l'évaluation du danger pour évaluer et intégrer tous les facteurs de menace tels que la chaleur, la fumée, la toxicité et l'appauvrissement en oxygène dans une analyse quantitative tenant compte du facteur temps.

8 Composants d'effluent à mesurer

8.1 Rapport minimal

La combustion de matériaux organiques entraîne une consommation d'oxygène et la production d'oxydes de carbone qui sont toujours des composants toxicologiques importants des effluents du feu. Il convient de toujours consigner les seuils de dioxyde de carbone, de monoxyde de carbone et d'oxygène.

8.2 Rapport additionnel

8.2.1 Composants gazeux des effluents du feu

Il convient de mesurer d'autres composants des effluents gazeux si leur présence est connue ou suspectée.

La présence connue ou suspectée d'autres éléments dans le combustible dicte les analyses complémentaires à réaliser. Le Tableau 3 donne la liste des composants des effluents gazeux les plus significatifs qui sont susceptibles d'être produits à partir des éléments qui constituent le combustible. À l'exception de la vapeur d'eau, ils contribueront tous au risque toxique de l'effluent.

Beaucoup d'autres composants des effluents gazeux peuvent être produits, en particulier si le combustible n'est pas complètement oxydé. Si la composition du combustible est connue, la fraction organique de l'effluent peut être estimée à partir de la proportion de carbone des produits. L'infrarouge à transformée de Fourier, la chromatographie en phase gazeuse et le spectromètre de masse sont des techniques qui peuvent donner des informations détaillées sur la composition de l'effluent gazeux.

NOTE Dans le cas des huiles isolantes électriques, le CE 10 de la CEI recommande que, dans la mesure du possible, les concentrations des espèces toxiques suivantes soient déterminées:

- acroléine et formaldéhyde;
- dioxines et furannes (pour les huiles suspectées de contamination par des biphényles polychlorés);
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (pour les huiles minérales).

Tableau 3 – Produits de la combustion

Élément(s) du combustible	Composant(s) principal(aux) de l'effluent
Carbone, hydrogène, oxygène	Eau (H ₂ O), dioxyde de carbone (CO ₂), monoxyde de carbone (CO) acroléine (CH ₂ =CHCHO), formaldéhyde (HCHO)
Azote	Cyanure d'hydrogène (HCN), Oxydes d'azote (NO _x)
Chlore	Chlorure d'hydrogène (HCl)
Fluor	Fluorure d'hydrogène (HF)
Brome	Bromure d'hydrogène (HBr)
Soufre	Dioxyde de soufre (SO ₂)

The presence or absence of specific chemical elements such as nitrogen, halogen, or phosphorus in the product is, by itself, no indicator of the level of lethal toxic hazard. Therefore no conclusions should be drawn from the presence or absence of a particular toxic chemical species in the fire effluent. Conclusions on the significance of the threat posed by a fire and its effluent require hazard assessment to evaluate and integrate all threat factors such as heat, smoke, toxicity, and oxygen depletion in a time-dependent quantitative analysis.

8 Effluent components to be measured

8.1 Minimum reporting

When organic materials burn, oxygen is consumed and carbon oxides are produced which are always important toxicological components of fire effluents. Carbon dioxide, carbon monoxide and oxygen levels should always be reported.

8.2 Additional reporting

8.2.1 Gaseous fire effluent components

Other gaseous effluent components should be measured if their presence is known or is suspected.

The known or suspected presence of other elements in the fuel dictates which additional analyses need to be performed. Table 3 lists the most significant gaseous effluent components which would be expected to be produced from elements in the fuel. All of these, with the exception of water vapour, will contribute to the toxic hazard of the effluent.

Many other gaseous effluent components may be produced, especially if the fuel is not completely oxidized. If the composition of the fuel is known, the organic fraction of the effluent can be estimated from a carbon balance of the products. Fourier transform infra-red and gas chromatograph/mass spectrometer techniques can give detailed information about the composition of gaseous effluent.

NOTE In the case of electrical insulating oils, IEC TC10 recommends that, when possible, the concentrations of the following toxic species should be determined:

- acrolein and formaldehyde;
- dioxins and furans (for oils suspected of being contaminated with polychlorinated biphenyls);
- polyaromatic hydrocarbons (for mineral oils).

Table 3 – Combustion products

Element(s) in the fuel	Principal effluent component(s)
Carbon, hydrogen, oxygen	Water (H ₂ O), carbon dioxide (CO ₂), carbon monoxide (CO) acrolein (CH ₂ =CHCHO), formaldehyde (HCHO)
Nitrogen	Hydrogen cyanide (HCN), nitrogen oxides (NO _x)
Chlorine	Hydrogen chloride (HCl)
Fluorine	Hydrogen fluoride (HF)
Bromine	Hydrogen bromide (HBr)
Sulphur	Sulphur dioxide (SO ₂)

8.2.2 Particules en suspension dans l'air

Les particules en suspension dans l'air peuvent contribuer à la toxicité globale des effluents du feu. Ainsi, il peut être utile de mesurer la quantité de particules (en milligrammes par litre) dans l'effluent. La répartition des tailles des particules de la matière constitue également une information utile.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60695-7-3:2004

Withdrawn

8.2.2 Airborne particulates

Airborne particulates can contribute to the overall toxicity of fire effluents. It may therefore be useful to measure the total particulate matter (milligrams per litre) in the effluent. The particle size distribution of the particulate matter is also useful information.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60695-7-3:2004

Withdrawing

Annexe A (informative)

Guide pour l'utilisation des valeurs LC_{50}

A.1 Généralités

La puissance toxique de l'effluent provenant de la combustion ou de la pyrolyse d'un produit est le plus souvent caractérisée par la concentration de cet effluent susceptible de porter préjudice aux personnes pendant une exposition donnée. Il existe une gamme d'impacts défavorables dont on peut souffrir dans un incendie. Le plus sévère est la mort. Des symptômes de moindre gravité, tels que la désorientation ou l'irritation des yeux, peuvent affecter la survie et peuvent avoir des effets durables ou non.

La plupart des études sur le risque toxique des incendies se sont concentrées sur les effets menant directement à la mort. La puissance toxique létale du composant toxique est caractérisée par la LC_{50} . Il s'agit de la concentration de composant toxique qui, lorsqu'elle est maintenue à un niveau constant pendant une durée d'exposition spécifiée (généralement 30 min) cause la mort de la moitié des sujets exposés. Au cours d'incendies, les personnes sont exposées à une concentration variable d'effluent de feu et ainsi leur exposition est calculée à partir de l'intégration de la courbe de la concentration en fonction de la durée.

A.2 Limite du risque

Dans un incendie, la vie d'une personne est menacée de plusieurs manières. Celles-ci incluent les plus courantes – inhalation d'effluents et brûlures – ainsi que la chute dans les escaliers causée par une mauvaise visibilité. La menace qui est exercée en premier est appelée danger limite. Identifier si cette limite est due à la toxicité de l'effluent du feu est la première étape dans l'analyse du risque toxique.

A.3 Utilisation des valeurs de LC_{50} dans des types spécifiques d'incendies

A.3.1 Feux couvants

Aucun des appareils utilisés actuellement pour mesurer la puissance toxique de l'effluent du feu ne s'applique à la combustion auto-entretenu sans flamme. On peut présumer que ce mode est similaire à une pyrolyse thermique ou par rayonnements, mais il n'a pas encore été établi si les produits de combustion ou les valeurs LC_{50} sont les mêmes.

Ces incendies produisent peu d'effluent ou de chaleur à cause de la lenteur de leur vitesse massique de combustion. Si cet effluent se mélangeait d'un bout à l'autre d'une pièce, la concentration serait très faible et à moins que la valeur de LC_{50} soit effectivement très basse, la menace pour la vie serait faible également. Dans le domaine électrotechnique, beaucoup de ces feux ont pour origine des composants surchauffés et les personnes sont rarement près de la source de feu couvant. Une personne peut recevoir une dose nocive seulement si l'effluent est contenu dans un petit volume.

A.3.2 Feux à combustion vive, à pré-embrassement éclair

Les valeurs LC_{50} sont mesurables pour des produits impliqués dans des petits feux à combustion vive. La plupart de ces valeurs sont dans une gamme étroite, bien qu'il y ait quelques combustibles de très hautes (puissance toxique faible) ou très basses (puissance toxique élevée) valeurs. Aussi bien pour l'appareillage de mesure que pour le feu réel, il y a un apport abondant d'oxygène.

Lorsque l'approche *DEF* est utilisée, il convient que les composants d'effluent toxiques soient déterminés par des analyses chimiques.

Annex A (informative)

Guidance for the use of LC_{50} values

A.1 General

The toxic potency of the effluent from a burning or pyrolyzing product is most often characterized by the concentration of that effluent likely to cause harm to people during a given exposure. There is a range of adverse impacts that one might suffer in a fire. The most severe is death. Lesser symptoms, such as disorientation or eye irritation, may affect survival and may or may not have lasting effects.

Most studies of toxic hazard in fires have centred on effects leading directly to death. The lethal toxic potency of a toxicant is characterized by the LC_{50} . This is the concentration of toxicant which, when held constant for a specified exposure time (usually 30 min) causes the death of half the exposed subjects. In fires, people are exposed to a changing concentration of fire effluent, and so their exposure is calculated from the integral of the concentration with respect to time.

A.2 Limiting hazard

There are several means by which one's life is threatened in a fire. These include the most common – effluent inhalation and burns – as well as falling down stairs because of poor visibility. The threat that is realized first is referred to as the limiting hazard. Identifying whether this limit is due to the toxicity of the fire effluent is the first step in toxic hazard analysis.

A.3 Use of LC_{50} values in specific types of fires

A.3.1 Smouldering fires

None of the currently used equipment for measuring the toxic potency of fire effluent does so for self-sustaining, non-flaming combustion. One can presume this mode is similar to thermal or radiative pyrolysis, but it has not yet been established if the combustion products or the LC_{50} values are the same.

These fires generate little effluent or heat because of their slow mass burning rates. If the effluent were to mix throughout a room, the concentration would be low and unless the LC_{50} value is very low indeed, the threat to life safety is low as well. In the electrotechnical field, many of these fires originate with overheated components, and people are rarely close to the smouldering source. Only if the effluent is contained within a small volume is a person capable of receiving a harmful dose.

A.3.2 Flaming, pre-flashover fires

LC_{50} values are measurable for products involved in small flaming fires. Most of these values fall in a narrow range, although there are a few combustibles with very high (low toxicity) or very low (high toxicity) values. In both the measurement apparatus and the fire, there is an ample supply of oxygen.

When the *FED* approach is employed, the toxic effluent components should be determined by chemical analysis.

Presque tous les combustibles communs produisent de la chaleur à la même vitesse qu'ils consomment de l'oxygène et la consommation d'oxygène est souvent utilisée pour mesurer le débit calorifique pendant un incendie. Pendant qu'un produit flambe, la chaleur propulse l'effluent chaud dans la couche supérieure du compartiment. Les personnes qui sont près du feu et qui sont exposées à cette couche supérieure subissent simultanément deux menaces pour leur vie: une température élevée et un effluent toxique. Il est important de déterminer quel est le danger limite. Une analyse montre que dans beaucoup de situations les brûlures ou la chaleur deviennent menaçantes pour la vie bien avant la toxicité de l'effluent pour des valeurs normales de LC_{50} [9]. Par conséquent, une mesure précise de la LC_{50} n'est pas importante pour une analyse du danger de ce type d'incendie. Il est plus important de savoir que la puissance toxique de l'effluent n'est pas extrême. Dans d'autres situations d'exposition, la chaleur du feu est dissipée par le transfert de l'effluent du feu à travers le bâtiment avant d'atteindre les personnes. Dans de tels cas, la puissance toxique de l'effluent sera le facteur menaçant pour la vie.

A.3.3 Feux à combustion vive, à post-embrasement éclair

A.3.3.1 Généralités

Lorsqu'un feu de compartiment devient assez grand, il consomme l'oxygène plus vite que l'afflux au travers des portes et des fenêtres ne peut le remplacer. La sous-ventilation mène à un degré élevé de combustion incomplète et la puissance toxique de l'effluent s'élève.

A.3.3.2 Augmentation du monoxyde de carbone

Dans la pièce en feu, la température et le niveau de rayonnement thermique deviennent généralement bientôt trop élevés pour qu'une personne puisse survivre. La menace à déterminer alors est celle concernant les personnes dans des compartiments contigus et des emplacements éloignés. Au fur et à mesure que l'effluent toxique chaud quitte la pièce, il est dilué par de l'air extérieur et perd de la chaleur par convection et conduction. Le danger limite dépend des vitesses comparées de ces processus et ceux-ci dépendent de la construction du bâtiment.

Des valeurs LC_{50} peuvent aussi être déterminées pour les produits impliqués dans de grands feux à combustion vive et la plupart de ces valeurs tombent à nouveau dans une gamme étroite. Cependant, la méthode de mesure nécessite la prise en compte de l'effet de l'appauvrissement en oxygène dans le compartiment embrasé. Cet appauvrissement conduit à l'augmentation de la formation de produits de combustion incomplète, notamment du monoxyde de carbone qui est responsable d'au moins la moitié de la DEF dans presque tous les feux. Ainsi sa prise en compte précise dans une détermination de LC_{50} est importante. Des systèmes ouverts (écoulement continu) peuvent prédéterminer la production de monoxyde de carbone par l'ajustement des conditions d'écoulement. Des systèmes fermés peuvent déterminer a posteriori la production de monoxyde de carbone en se calant sur les résultats d'incendies à l'échelle réelle.

A.3.3.3 Simplification des valeurs LC_{50}

Une simplification de la détermination de la LC_{50} est possible en raison de l'augmentation de production de monoxyde de carbone dans les feux à post-embrasement éclair. Des mesures de laboratoire ont montré que le dioxyde de carbone augmente la toxicité du monoxyde de carbone et que la LC_{50} du monoxyde de carbone affecté par le dioxyde de carbone est d'environ $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse d'une gamme d'essais de locaux en feu de post-embrasement éclair montre que, bien qu'il y ait des variations, la production typique de monoxyde de carbone est d'environ $0,2 \text{ g/g}$ de combustible brûlé. Cette valeur élevée est le résultat de la sous-ventilation du compartiment de feu. En combinant ces deux valeurs, la LC_{50} de l'effluent du feu de post-embrasement éclair est estimée à environ $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ [10]. Cela se fonde uniquement sur les proportions attendues de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone. Aucune valeur plus élevée n'est possible. La présence d'autres composants toxiques ou même de productions plus fortes de monoxyde de carbone ne ferait que diminuer la valeur.

Nearly all common fuels generate heat at the same rate they consume oxygen, and oxygen consumption is often used to measure the rate of heat release during a fire. As a product burns, the heat buoyantly propels the hot effluent into the upper layer of the compartment. People who are near the fire and who are exposed to that upper layer simultaneously experience two threats to life safety: high temperature and toxic effluent. It is important to determine which is the limiting hazard. An analysis shows that, in many situations, burns or heat become life-threatening well before effluent toxicity for normal values of the LC_{50} [9]. Therefore, precise measurement of the LC_{50} is not important for a hazard analysis of this type of fire. Rather, it is most important to know that the toxic potency of the effluent is not extreme. In other exposure situations, the heat of the fire is dissipated by travel of the fire effluent through the building before reaching the people. In such cases, the potency of the effluent will be the life-threatening factor.

A.3.3 Flaming, post-flashover fires

A.3.3.1 General

When a compartment fire becomes large enough, it consumes oxygen faster than the inflow through doors and windows can replenish it. The underventilation results in a high degree of incomplete combustion and the toxic potency of the effluent rises.

A.3.3.2 Enhanced carbon monoxide

Usually within a room on fire, the temperature and thermal radiation level soon become too high for survival. The threat to be determined, then, is the threat to people in contiguous compartments and remote locations. As the hot, toxic effluent leaves the room, it is diluted by external air and loses heat by convection and conduction. The limiting hazard depends on the competitive rates of these processes, and these are building-dependent.

LC_{50} values can also be determined for products involved in large flaming fires, and most of these values again fall in a narrow range. However, the measurement method requires inclusion of the effect of oxygen depletion in the flashed-over compartment. This depletion results in enhanced yields of incomplete combustion products, notably carbon monoxide which is responsible for at least half of the FED in nearly all fires. Thus its accurate inclusion in an LC_{50} determination is important. Open (flow-through) systems can pre-determine the carbon monoxide yield by adjustment of the flow conditions. Closed systems can post-determine the carbon monoxide yield by matching the results from real-scale fires.

A.3.3.3 Simplification of LC_{50} values

Some simplification of the LC_{50} determination is possible because of the enhanced carbon monoxide yields in post-flashover fires. Laboratory measurements have shown that carbon dioxide enhances the toxicity of carbon monoxide, and that the LC_{50} of carbon dioxide-potentiated carbon monoxide is about $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Analysis of a range of post-flashover room fire tests shows that, although there is some variation, the typical yield of carbon monoxide is about $0,2 \text{ g/g}$ of fuel burned. This high value is a result of the underventilation of the fire compartment. Combining these two values, the LC_{50} of post-flashover fire effluent is seen to be about $25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ [10]. This is based on the expected carbon monoxide and carbon dioxide content only. No higher values are possible. The presence of other toxicants or even more enhanced carbon monoxide yields would only lower the value.

Il est ensuite approprié d'examiner la précision de la méthode de mesure du banc d'essai, c'est-à-dire le degré de représentativité de l'essai en laboratoire par rapport au phénomène à l'échelle réelle. Des études pilotes de validation d'un appareil radiant pour des mesures de LC_{50} ont montré que les résultats pouvaient être utilisés pour prédire la puissance toxique à échelle réelle à un facteur 3 environ [11]. Par conséquent, les valeurs LC_{50} pour l'effluent de feu de post-embrasement éclair entre $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($25 \div 3$) et $75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (25×3) sont indiscernables. Puisque tous les effluents du feu de post-embrasement éclair ont des valeurs de LC_{50} inférieures ou égales à $25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, toutes les valeurs LC_{50} d'un effluent de feu de post-embrasement éclair supérieures à $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, déterminées en utilisant cette méthode, sont indiscernables les unes des autres. Ce type de calcul peut être appliqué à d'autres systèmes de banc d'essai une fois que leur précision a été déterminée.

La plupart des produits électrotechniques communs ont des valeurs de LC_{50} substantiellement plus élevées que cela. Ainsi, pour ces combustibles, on pourrait utiliser à titre conservatoire une valeur commune de $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ dans une analyse de danger de post-embrasement éclair.

Lorsque la communauté traitant des incendies aura suffisamment d'expérience avec les mesures de LC_{50} en utilisant cette approche, des regroupements de produits pourraient être exemptés par inspection de déterminations plus poussées et être décrites comme «ayant une LC_{50} supérieure à $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ». Exemples possibles:

- le bois et autres matières cellulosiques, dans la mesure où toutes les espèces présenteraient des valeurs LC_{50} similaires à la valeur existante du sapin Douglas;
- matériaux synthétiques contenant seulement C, H et O;
- des mélanges polymère/additif qui ont été reconnus comme suivant l'équation N-gas (voir 5.2.2), c'est-à-dire qu'ils ne produisent pas de composants toxiques additionnels et ont été reconnus comme ayant des valeurs LC_{50} supérieures $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$;
- des produits présents uniquement en petites quantités;
- des produits qui ne sont pas censés devenir du combustible pour un feu d'embrasement éclair, tels que les éléments installés uniquement derrière une barrière suffisamment protectrice.

Basé sur un bilan de valeurs de puissance toxique relevées, ce processus pourrait conduire à une fraction extrêmement restreinte de produits électrotechniques nécessitant d'être mesurés. En effet, lorsqu'un tel produit ne contribue que pour une partie seulement à l'effluent dans un scénario feu de post-embrasement éclair, le reste provenant de la combustion de nombreux autres produits et matériaux, sa contribution à l'effet toxique total peut être très faible même si sa puissance toxique est vraiment prononcée. Noter que cela s'applique seulement aux scénarios de post-embrasement éclair.