

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

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

Essais relatifs aux risques du feu –

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





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 60695-7-3

Edition 1.0 2011-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

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

Essais relatifs aux risques du feu –

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 13.220.40; 29.020

ISBN 978-2-88912-629-3

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	8
4 Principles of toxic hazard assessment.....	14
4.1 General	14
4.2 Exposure dose.....	15
4.3 Determination of concentration-time data	16
4.4 Asphyxiants and the fractional effective dose, <i>FED</i>	17
4.4.1 General	17
4.4.2 Properties of the <i>FED</i>	17
4.4.3 Uses of the <i>FED</i>	18
4.5 Irritants and the fractional effective concentration, <i>FEC</i>	18
4.6 Carbon dioxide	19
4.7 Oxygen vitiation	19
4.8 Heat stress	19
4.9 Effects of stratification and transport of fire atmospheres	19
5 Methods of toxic hazard assessment.....	19
5.1 General approach	19
5.2 Equations used to predict death	19
5.2.1 Simple toxic gas model	19
5.2.2 The N-gas model	20
5.2.3 Hyperventilatory effect of carbon dioxide	20
5.2.4 Lethal toxic potency values	20
5.2.5 Mass loss model	21
5.3 Equations used to predict incapacity	21
5.3.1 Asphyxiant gas model	21
5.3.2 Irritant gas model.....	22
5.3.3 Mass loss model	22
6 Toxic potency values	22
6.1 Generic values of toxic potency	22
6.2 Toxic potency values obtained from chemical analyses	22
6.3 Toxic potency values obtained from animal tests.....	22
7 Limitations on the interpretation of toxicity test results	22
8 Effluent components to be measured	23
8.1 Minimum reporting	23
8.2 Additional reporting.....	23
8.2.1 Gaseous fire effluent components	23
8.2.2 Airborne particulates	24
Annex A (informative) Guidance for the use of <i>LC</i> ₅₀ values	25
Annex B (informative) A simple worked example to illustrate the principles of a toxic hazard analysis	28
Annex C (informative) <i>F</i> values for irritants	32
Bibliography	33

Figure 1 – Exposure dose as a function of time and concentration	15
Figure 2 – Time dependent components of fire hazard.....	16
Figure 3 – Total <i>FED</i> and contributors, as a function of time	18
Figure B.1 – Flame spread rate for materials A and B.....	29
Figure B.2 – Relative toxic hazard of two materials – time to lethality, i.e. $FED \geq 1$	31
Table 1 – Some toxic potency values.....	20
Table 2 – Combustion products	24
Table B.1 – Example <i>FED</i> calculation data for material A.....	30
Table B.2– Example <i>FED</i> calculation data for material B.....	30
Table C.1 – <i>F</i> values for irritants	32

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60695-7-3 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

This first edition cancels and replaces the second edition of IEC/TS 60695-7-3 published in 2004. It constitutes a technical revision and now has a status of an International Standard.

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

This International Standard is to be used in conjunction with IEC 60695-7-1 and IEC 60695-7-2.

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

- change of designation from a Technical Specification to an International Standard;

- the Foreword, Introduction, and Clauses 1, 2 and 3 have been updated;
- expanded in all areas to further clarify the alignment with ISO/TC 92 *Fire Safety* and in particular with ISO 13344, ISO 13571, ISO/IEC 13943, ISO 16312-1, ISO 16312-2, ISO 19701, ISO 19702 and ISO 19706;

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
89/1058/FDIS	89/1072/RVD

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

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

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

Part 7 consists of the following parts:

- Part 7-1: Toxicity of fire effluent – General guidance
- Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods
- Part 7-3: Toxicity of fire effluent – Use and interpretation of test results
- 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 the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

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 of publications is subject to the ongoing evolution of fire safety philosophy within ISO/TC 92.

The guidance in this international standard is consistent with the principles of fire safety developed by ISO TC 92 SC 3 on toxic hazards in fire, as described in ISO 13344, ISO 13571, ISO 16312-1, ISO 16312-2, ISO 19701, ISO 19702 and ISO 19706. General guidance for the fire hazard assessment of electrotechnical products is given in IEC 60695-1-10 and IEC 60695-1-11.

In 1989, the following views were expressed in ISO/TR 9122-1.

"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 and ISO subsequently developed ISO/TS 19700 [1]¹. Both these standards use the same apparatus. It is a practical small-scale apparatus which is used to measure toxic potency and which, by virtue of its ability to model defined stages of a fire, yields toxic potency data suitable for use, with appropriate additional data, in a full hazard assessment. Both methods use variations in air flow and temperature to give different physical fire models, but the ISO test method additionally uses the equivalence ratio as a key parameter.

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 such as the effects of heat, radiant energy, depletion of oxygen and smoke obscuration, all of which are discussed in ISO 13571. General guidance on smoke obscuration is provided in IEC 60695-6-1.

IEC TC89 recognizes that effective mitigation of toxic hazard from electrotechnical products 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 and facilitating escape.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

FIRE HAZARD TESTING –

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

1 Scope

This part of IEC 60695 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 13344, ISO 13571, ISO 16312-1, ISO 16312-2, ISO 19701, ISO 19702 and ISO 19706. It also provides guidance on the use of toxic potency data in fire hazard assessment and on principles which underlie the use of combustibility and toxicological information in fire hazard assessment.

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

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

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

2 Normative references

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

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

IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*

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

IEC 60695-7-2, *Fire hazard testing – Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods*

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

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

ISO/IEC 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 13344:2004, *Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents*

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

ISO 16312-1, *Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment – Part 1: Criteria*

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

ISO 19701, *Methods for sampling and analysis of fire effluents*

ISO 19702, *Toxicity testing of fire effluents – Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR gas analysis*

ISO 19706², *Guidelines for assessing the fire threat to people*

3 Terms and definitions

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

3.1

asphyxiant

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

NOTE Loss of consciousness and ultimately death can occur.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.17]

3.2

burn, intransitive verb

undergo combustion

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.28]

3.3

burn, transitive verb

cause combustion

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.29]

3.4

combustible, adjective

capable of being ignited and burned

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.43]

3.5

combustible, noun

item capable of combustion

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.44]

² ISO 9122-1: *Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General* has been withdrawn and replaced by ISO 19706.

3.6**combustion**

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.46]

3.7**concentration**

mass per unit volume

NOTE 1 For a fire effluent, the typical units are grams per cubic metre ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 For a toxic gas, concentration is usually expressed as a volume fraction at $T = 298 \text{ K}$ and $P = 1 \text{ atm}$, with typical units of microlitres per litre ($\mu\text{L/L}$), which is equivalent to cm^3/m^3 or 10^{-6} .

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.52]

3.8**effective concentration 50** **EC_{50}**

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

NOTE 1 For fire effluent, typical units are grams per cubic metre ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 For a toxic gas, typical units are microlitres per litre ($\mu\text{L/L}$) (at $T = 298 \text{ K}$ and $P = 1 \text{ atm}$); see volume fraction.

NOTE 3 The observed effect is usually a behavioural response, incapacitation, or death. The EC_{50} for incapacitation is termed the IC_{50} . The EC_{50} for lethality is termed the LC_{50} .

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.72]

3.9**effective exposure dose 50** **ECt_{50}**

product of EC_{50} and the exposure time over which it was determined

NOTE 1 For fire effluent, typical units are grams times minutes per cubic metre ($\text{g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 For a toxic gas, typical units are microlitres times minutes per litre ($\mu\text{L} \times \text{min} \times \text{L}^{-1}$) (at $T = 298 \text{ K}$ and $P = 1 \text{ atm}$); see volume fraction.

NOTE 3 ECt_{50} is a measure of toxic potency

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.73]

3.10**equivalence ratio**

fuel/air ratio divided by the fuel/air ratio required for a stoichiometric mixture

NOTE 1 Standard, dry air contains 20,95 % oxygen by volume. In practice, the oxygen concentration in entrained air may vary and calculation of the equivalence ratio to a standard, dry air basis is required.

NOTE 2 The equivalence ratio is dimensionless.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.81]

3.11

exposure dose

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

NOTE 1 For fire effluent, typical units are grams times minutes per cubic metre ($\text{g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 For a toxic gas, typical units are microlitres times minutes per litre ($\mu\text{L} \times \text{min} \times \text{L}^{-1}$) (at $T = 298 \text{ K}$ and $P = 1 \text{ atm}$); see volume fraction.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.89]

3.12

fire

(general) process of combustion characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, flame, glowing or a combination thereof

NOTE In the English language, the term “fire” is used to designate three concepts, two of which, fire (3.13) and fire (3.14), relate to specific types of self-supporting combustion with different meanings and two of them are designated using two different terms in both French and German.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.96]

3.13

fire

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.97]

3.14

fire

(uncontrolled) self-supporting combustion that has not been deliberately arranged to provide useful effects and is not limited in its extent in time and space

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.98]

3.15

fire effluent

totality of gases and aerosols, including suspended particles, created by combustion or pyrolysis in a fire

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.105]

3.16

fire hazard

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.112]

3.17

fire model

fire simulation

calculation method that describes a system or process related to fire development, including fire dynamics and the effects of fire

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.116]

3.18

fire scenario

qualitative description of the course of a fire with respect to time, identifying key events that characterise the studied fire and differentiate it from other possible fires

NOTE It typically defines the ignition and fire growth processes, the fully developed fire stage, the fire decay stage, and the environment and systems that impact on the course of the fire.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.129]

3.19

flame spread

propagation of a flame front

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.142]

3.20

flashover

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.156]

3.21

fractional effective concentration

FEC

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

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

NOTE 2 When not used with reference to a specific irritant, the term “FEC” represents the summation of FEC values for all irritants in a fire-generated atmosphere.

NOTE 3 The FEC is dimensionless.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.159]

3.22

fractional effective dose

FED

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

NOTE 1 As a concept, fractional effective dose may refer to any effect, including incapacitation, lethality or other endpoints.

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

NOTE 3 The FED is dimensionless.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.160]

3.23

fully developed fire

state of total involvement of combustible materials in a fire

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.164]

3.24

hyperventilation

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.180]

3.25

ignition

sustained ignition (deprecated)

⟨general⟩ initiation of combustion

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.187]

3.26

incapacitation

state of physical inability to accomplish a specific task

NOTE An example of a specific task is to accomplish escape from a fire.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.194]

3.27

irritant, noun

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

NOTE Physiological defence responses include reflex eye closure, tear production, coughing, and bronchoconstriction.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.203]

3.28

lethal concentration 50

LC_{50}

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

NOTE 1 For fire effluent, typical units are $g \times m^{-3}$.

NOTE 2 For a toxic gas, the typical units are microlitres per litre ($\mu L/L$) ($T = 298 K$ and $P = 1 atm$); see volume fraction.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.207]

3.29

lethal exposure dose 50

LCt_{50}

product of LC_{50} and the exposure time over which it is determined

NOTE 1 LCt_{50} is a measure of lethal toxic potency.

NOTE 2 For fire effluent, the typical units are grams times minutes per cubic metre ($g \times min \times m^{-3}$).

NOTE 3 For a toxic gas, typical units are microlitres times minutes per litre ($\mu L \times min \times L^{-1}$) at $T = 298 K$ and $P = 1 atm$; see volume fraction.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.208]

3.30

mass loss concentration

⟨closed system⟩ mass of the test specimen consumed during combustion divided by the test chamber volume

NOTE The typical units are grams per cubic metre ($g \times m^{-3}$).

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.222]

3.31

mass loss concentration

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

NOTE 1 The definition assumes that the mass is dispersed in the air flow uniformly over time.

NOTE 2 The typical units are grams per cubic metre ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.223]

3.32

physical fire model

laboratory process, including the apparatus, the environment and the fire test procedure intended to represent a certain phase of a fire

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.251]

3.33

pyrolysis

chemical decomposition of a substance by the action of heat

NOTE 1 Pyrolysis is often used to refer to a stage of fire before flaming combustion has begun.

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.266]

3.34

small-scale fire test

fire test performed on a test specimen of small dimensions

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

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.292]

3.35

smoke

visible part of fire effluent

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.293]

3.36

toxic

poisonous

NOTE A poisonous substance produces adverse effects upon a living organism, e.g. irritation, narcosis or death.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.335]

3.37

toxic gas

toxic vapour

NOTE In the context of fire effluent, the term is usually applied to a single chemical element or compound.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.336]

3.38

toxic hazard

potential for harm resulting from exposure to toxic combustion products

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.337]

3.39

toxic potency

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

NOTE A small value of toxic potency corresponds to a high toxicity, and vice versa.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.338]

3.40

toxicant

toxin

toxic substance

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.340]

3.41

toxicity

toxic quality

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.341]

3.42

volume fraction

⟨gas in a gas mixture⟩ ratio of

- the volume that the gas alone would occupy at a defined temperature and pressure, to:
- the volume occupied by the gas mixture at the same temperature and pressure

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

NOTE 2 Unless stated otherwise, a temperature of 298 K and a pressure of 1 atm are assumed.

NOTE 3 The volume fraction is dimensionless and is usually expressed in terms of microlitres per litre ($\mu\text{L/L}$), which is equivalent to cm^3/m^3 or 10^{-6} , or as a percentage.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.351]

3.43

yield

mass of a combustion product generated during combustion divided by the mass loss of the test specimen

NOTE The yield is dimensionless.

[ISO/IEC 13943:2008, definition 4.354]

4 Principles of toxic hazard assessment

4.1 General

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. General guidance on the fire hazard of electrotechnical products is given in IEC 60695-1-10, and a comprehensive description of the technical background for fire hazard assessment is presented in IEC 60695-1-11. ISO 13571 address the consequences of human exposure to the life threat components of fire as occupants move through an enclosed structure, and it includes the effects of toxic fire effluent.

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 that cause death. However, the emphasis is moving to the calculation of exposure times that 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, hydrogen chloride 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.

4.2 Exposure dose

For most asphyxiant components of fire effluent, it is commonly assumed that the severity of the toxic effect is roughly proportional to both the concentration and the time of exposure. This is known as Haber's rule. 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 13344 and ISO 13571.

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 (see also Figure 1).

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

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.

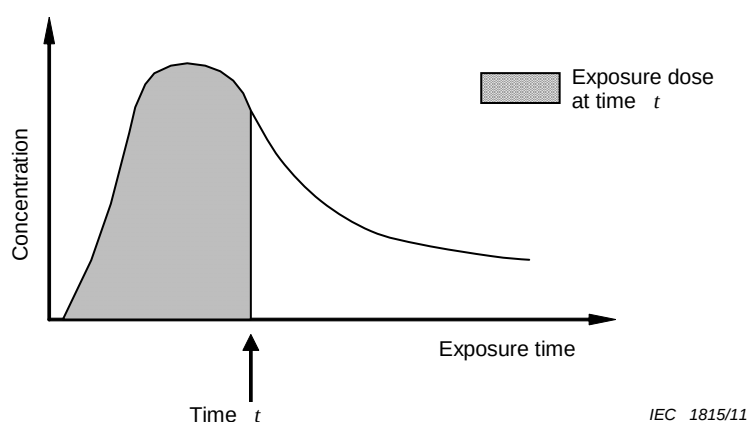


Figure 1 – Exposure dose as a function of time and concentration

The units of exposure dose are concentration multiplied by time, usually expressed as grams per cubic metre times minutes ($\text{g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$). Sometimes volume fraction (see 3.42) is used instead of concentration and exposure doses are then usually quoted in units of $10^{-6} \times \text{min}$.

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 Determination of concentration-time data

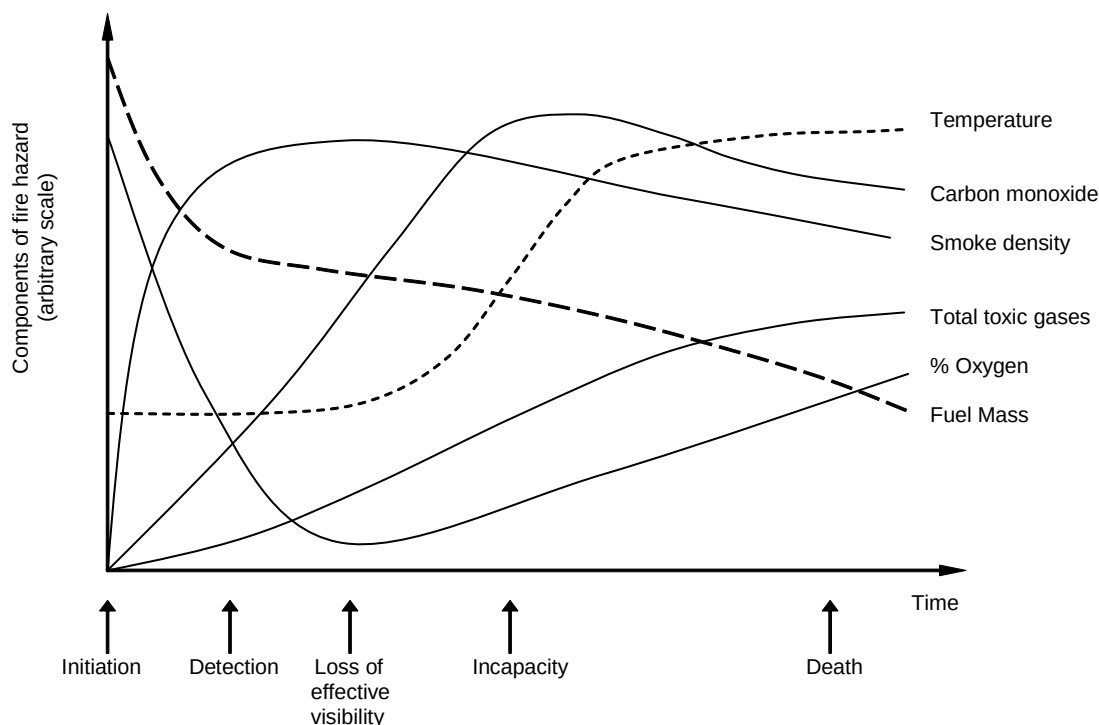
There are two ways to determine concentration-time data:

- 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 fire 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 the all the fuel has been calculated to be 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 1816/11

Figure 2 – Time dependent components of fire hazard

4.4 Asphyxiants and the fractional effective dose, *FED*

4.4.1 General

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, EC_{t50} . The lower the EC_{t50} 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].

$$FED = \frac{\text{exposure dose}}{\text{effective exposure dose}} = \frac{\int C \times dt}{EC_{t50}} \quad (2)$$

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, EC_{t50} , 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,
- the volume of the compartment into which the effluent is dispersed, and
- the toxic potency of the fire effluent.

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:

$$f_i = \frac{[\int C \times dt]_i}{[EC_{t50}]_i} = \frac{\text{exposure dose of effluent component, } i}{\text{effective dose of effluent component, } i} \quad (3)$$

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.

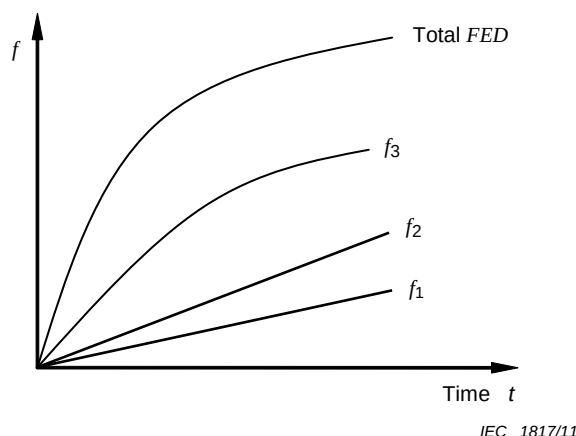


Figure 3 – Total *FED* and contributors, as a function of time

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. When considering incapacitation, effects appear 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.

NOTE Irritant toxicants can also be lethal, and in this case it appears that it is the exposure dose that is relevant, see 5.2.

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 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 [4].

4.8 Heat stress

Heat stress can cause both incapacitation and death. Heat stress appears to act like an added toxicant [5], [6], and a heat stress term can be added to the *FED* calculation – see ISO 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 are 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 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.

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

where

$[\int C \times dt]_i$ 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) [7].

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.

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

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 Hyperventilatory effect of carbon dioxide

In cases when the CO_2 volume fraction exceeds 0,02, *FED* values should be multiplied by a frequency factor, v_{CO_2} , to allow for the increased rate of asphyxiant uptake due to hyperventilation.

$$v_{CO_2} = \exp(X_{CO_2} / 0,05) \quad (7)$$

where X_{CO_2} equals the volume fraction of carbon dioxide (see ISO 13571).

5.2.4 Lethal toxic potency values

LCt_{50} values used in Equations (5), (6) and (8) are given below in Table 1.

Table 1 – Some toxic potency values

(From ISO 13344)

Toxicant	LC_{50} value $\times 10^6$ (30 min exposure, volume fraction value)	LCt_{50} value $\times 10^6$ (min)
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

Toxicant	LC_{50} value $\times 10^6$ (30 min exposure, volume fraction value)	LCt_{50} value $\times 10^6$ (min)
Hydrogen fluoride (HF)	2 900	87 000
Hydrogen bromide (HBr)	3 800	114 000
Sulphur dioxide (SO ₂)	1 400	42 000

5.2.5 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

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

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.

5.3 Equations used to predict incapacity

5.3.1 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. 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 [9].

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

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\{\exp(\phi_{HCN} / 4,3 \times 10^{-5})\} - 1}{220 \text{ min}} \times \Delta t \quad (9)$$

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} .

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 $\exp(\phi_{CO_2} / 0,05)$, where ϕ_{CO_2} equals the volume fraction of carbon dioxide (see ISO 13571).

5.3.2 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 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 [10]. Although based on experimental data obtained from exposure of rats, this relationship is also expected to be appropriate for human exposure, see ISO 13571.

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. 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 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 1 (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 (2011), no recorded instance of a fire in which the hazard resulted from extreme toxic potency.

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 2 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 (see IEC 60695-1-40) the following toxic species can be produced:

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

The production of these toxic species is not limited to electrical insulating oils.

Table 2 – 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 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.

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.

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} [11]. 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 toxic fire effluent will probably 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 fire effluent becomes more toxic.

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 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 $5 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$. 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 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 $25 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ [12]. 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.

Next, it is appropriate to consider the accuracy of the bench-scale measurement method, i.e. the degree to which the laboratory test replicates the real-scale phenomenon. Pilot validation studies of a radiant apparatus for LC_{50} measurement showed that the results could be used to predict real-scale toxic potency to about a factor of 3 [13]. Therefore, LC_{50} values for post-flashover fire effluent between $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ ($25 \div 3$) and $75 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ (25×3) are indistinguishable. Since all post-flashover fire effluent has an LC_{50} value no greater than $25 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, all LC_{50} values for post-flashover fire effluent greater than $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ and determined using this method are indistinguishable from each other. This type of calculation can be applied to other bench-scale devices once their accuracy has been determined.

Most common electrotechnical products have LC_{50} values substantially higher than this. Thus, for those combustibles one would conservatively use a common value of $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ in a post-flashover hazard analysis.

When the fire community has sufficient experience with LC_{50} measurements using this approach, some groupings of products could be exempted from further determinations by inspection and be described as "having an LC_{50} greater than $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ ". Some possible examples are:

- wood and other cellulose, since all species would be expected to show LC_{50} values similar to the existing Douglas fir value;
- synthetic materials containing only C, H, and O;
- polymer/additive mixtures that have been shown to follow the N-Gas equation (see 5.2.2), i.e. they produce no additional toxicants, and have been shown to have LC_{50} values greater than $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$;
- products that are only present in small quantities;
- products that would not be expected to become fuel for a flashed-over fire, such as those items only installed behind a sufficiently protective barrier.

Based on an overview of reported toxic potency values, this process could result in an extremely small fraction of electrotechnical products that would need to be measured. Indeed, when such a product is but one contributor to the effluent in a post-flashover fire scenario, which exists because of the burning of numerous other products and materials as well, its contribution to the total toxic effect may be very low even if its toxicity is quite high. Note that this applies to post-flashover scenarios only.

Annex B (informative)

A simple worked example to illustrate the principles of a toxic hazard analysis

NOTE This example does not refer to an electrotechnical product but the general principles involved are valid for electrotechnical products.

B.1 The problem scenario

Replacing the floor covering material in a room is considered. It is intended that if the material is ignited by a small ignition source, the rate of development of toxic hazard from the new material (material B) should not be worse than that from the old material (material A). It is considered that the most likely scenario would involve a closed room which would rapidly fill with smoke and that the effluent can be considered as evenly mixed throughout the room volume (i.e. layering effects can be considered very transient, and can be ignored). In this worked example the toxicity of the fire effluent from material B is twice that of material A, but it burns more slowly once ignited.

B.2 Information available

The volume of the room is 40 m³. The floor covering material has an area density of 4 kg/m². Horizontal burning tests have shown that both materials burn through rapidly so that a front of combustion spreads from the point of ignition. Both materials lose 3 kg × m⁻² of mass when they burn. For material A, the rate of flame spread is 10 cm × min⁻¹ while for material B, the rate of flame spread is only 5 cm × min⁻¹. However, small-scale fire tests have shown that, under well-ventilated flaming conditions, the fire effluent from material B is twice as toxic (i.e. has half the toxic potency value) as the fire effluent from material A.

Mass loss concentration based toxic potencies:

Material A: $LC_{50} = 20 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, lethal exposure dose 50 = $600 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$.

Material B: $LC_{50} = 10 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, lethal exposure dose 50 = $300 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$.

B.3 Hazard analysis

Assuming a small point ignition source, both materials will burn through, and a circle of burned area will spread out from the point of ignition (see Figure B.1). Since material A burns twice as quickly as material B, the area of material A consumed will be four times that of material B at any time during the early stages of the fire.

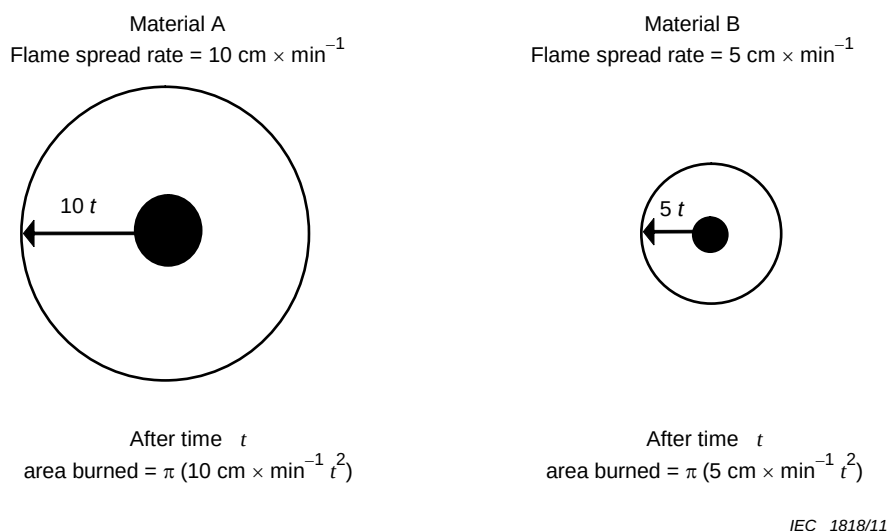


Figure B.1 – Flame spread rate for materials A and B

For material A the mass loss concentration, C , at time, t , is given by the equation:

$$\begin{aligned}
 C &= \text{area burned} \times \text{mass loss per unit area} \div \text{volume of the room} \\
 &= 3,1416 \times (10 \text{ cm} \times \text{min}^{-1} \times t)^2 \times 0,3 \text{ kg} \times \text{m}^{-2} \div 40 \text{ m}^3 \\
 &= 2,356 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}^{-2} \times t^2
 \end{aligned}$$

$$\text{The exposure dose} = \int C \times dt = 2,356 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}^{-2} \times t^3/3$$

Table B.1 shows calculated values for material A. The *FED* for each point in time is the exposure dose at that time divided by the lethal exposure dose 50 for that material. When the *FED* reaches unity the toxicological endpoint, in this case death, is predicted.

The corresponding values for material B are shown in Table B.2.

Figure B.2 is a graph showing the results of the *FED* calculations for materials A and B in the 40 m^3 room. The analysis shows that lethal conditions are attained after approximately 9 min for material A, and approximately 2,5 min later for material B.

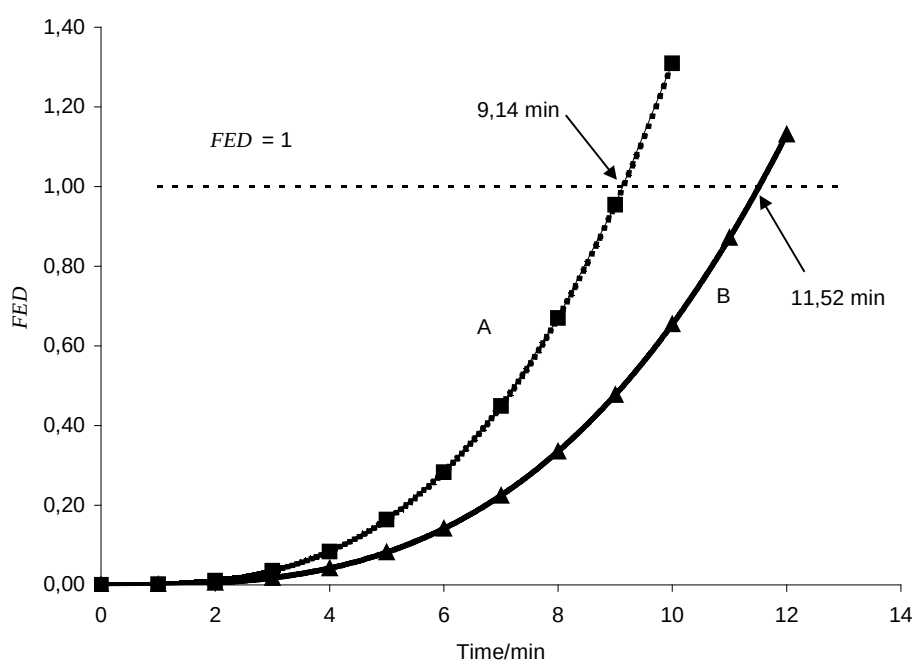
It can therefore be concluded that material B presents less of a toxic hazard than material A in this scenario, despite the fact that the fire effluent from material B is twice as toxic as that from material A.

Table B.1 – Example *FED* calculation data for material A

Time min	Area burned cm ²	Mass burned g	Mass loss concentration at time <i>t</i> g × m ⁻³	Mass loss concentration (integrated over time) = exposure dose g.min × m ⁻³	<i>FED</i>
0	0	0	0,0	0,0	0,000
1	314	94	2,4	0,8	0,001
2	1 257	377	9,4	6,3	0,010
3	2 827	848	21,2	21,2	0,035
4	5 027	1 508	37,7	50,3	0,084
5	7 854	2 356	58,9	98,2	0,164
6	11 310	3 393	84,8	169,6	0,283
7	15 394	4 618	115,5	269,4	0,449
8	20 106	6 032	150,8	402,1	0,670
9	25 447	7 634	190,9	572,6	0,954
10	31 416	9 425	235,6	785,4	1,309

Table B.2– Example *FED* calculation data for material B

Time min	Area burned cm ²	Mass burned g	Mass loss concentration at time <i>t</i> g × m ⁻³	Mass loss concentration (integrated over time) = exposure dose g.min × m ⁻³	<i>FED</i>
0	0	0	0,0	0,0	0,000
1	79	24	0,6	0,2	0,001
2	314	94	2,4	1,6	0,005
3	707	212	5,3	5,3	0,018
4	1 257	377	9,4	12,6	0,042
5	1 964	589	14,7	24,5	0,082
6	2 827	848	21,2	42,4	0,141
7	3 848	1 155	28,9	67,3	0,224
8	5 027	1 508	37,7	100,5	0,335
9	6 362	1 909	47,7	143,1	0,477
10	7 854	2 356	58,9	196,4	0,655
11	9 503	2 851	71,3	261,3	0,871
12	11 310	3 393	84,8	339,3	1,131



IEC 1819/11

Material A: toxic potency $600 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}$ flame spread $10 \text{ cm} \times \text{min}^{-1}$.

Material B: toxic potency $300 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}$ flame spread $5 \text{ cm} \times \text{min}^{-1}$.

Scenario: horizontal flame spread across a floor covering in a closed 40 m^3 room.

Figure B.2 – Relative toxic hazard of two materials – time to lethality, i.e. $FED \geq 1$

Annex C (informative)

F values for irritants

Volume fractions of irritant gases that are expected to seriously compromise an occupants' ability to take effective action to accomplish escape (*F* values) for some of the more important irritants are listed in Table C.1.

Table C.1 – *F* values for irritants

(From ISO 13571)

Irritant	<i>F</i> value × 10 ⁶
Acrolein	30
Sulphur dioxide	150
Formaldehyde	250
Nitrogen dioxide	250
Hydrogen fluoride	500
Hydrogen bromide	1 000
Hydrogen chloride	1 000

Bibliography

- [1] ISO/TS 19700:2007, *Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents*
- [2] Hartzell, G.E., *Smoke toxicity test development and use: Historical perspectives relevant to today's issues*. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London.
- [3] Hartzell, G.E., and Emmons, H.E., *The Fractional Effective Dose Model for Assessment of Hazards Due to Smoke from Materials*, Journal of Fire Sciences, 6, (5), pp. 356-362 (1988)
- [4] Levin, B.C., Paabo, M., Gurman, J.L. and Harris, S.E., *Effects of exposure to single and multiple combination of the predominant toxic gases and low oxygen atmospheres produced in fires*. Fundamental and Applied Toxicology. 9, 236-250 (1987).
- [5] *Engineering Guide for Predicting 1st and 2nd Degree Skin Burns* (2000), Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD
- [6] Crane, C., *Human Tolerance Limit to Elevated Temperature: An Empirical Approach to the Dynamics of Acute Thermal Collapse*, Federal Aviation Administration, Memorandum Report No. ACC-114-78-2, 1978.
- [7] Babrauskas, V., Levin, B.C., Gann, R.G., Paabo, M., Harris, R.H., Peacock, R.D., Yusa, S., *Toxic potency measurements for fire hazard analysis*. NIST Special Publication 827, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA (1991).
- [8] Kaplan, H. L., Grand, A. F., Switzer, W. G., Mitchell, D. S., Rogers, W. R. and Hartzell, G. E., *Effects of Combustion Gases on Escape Performance of the Baboon and the Rat*, J. Fire Sciences, 3 (4), pp. 228-244 (1985).
- [9] Purser, D.A., *Physiological effects of combustion products*. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London.
- [10] Gann, R.G., *Fire effluent, people, and standards: Standardization philosophy for the effects of fire effluent on human tenability*. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London.
- [11] Gann, R.G., Babrauskas, V., Peacock, R.D., and Hall, Jr., J.R., *Fire Conditions for Smoke Toxicity Measurements*. Fire and Materials, 18, 193-199 (1994).
- [12] Babrauskas, V., Harris, R.H., Braun, E., Levin, B.C., Paabo, M., and Gann, R.G., *The Role of Bench-Scale Test Data in Assessing Full-Scale Toxicity*, NIST Technical Note 1284, National Institute for Standards and Technology USA (1991).
- [13] Babrauskas, V., Levin, B.C., Gann, R.G., Paabo, M., Harris, R.H., Peacock, R.D., Yusa, S., *Toxic potency measurements for fire hazard analysis*. NIST Special Publication 827, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA (1991).
- [14] IEC 60695-6-1:2005, *Fire hazard testing – Part 6-1: Smoke opacity – General guidance*
- [15] IEC/TS 60695-7-50:2002, *Fire hazard testing – Part 7-50: Toxicity of fire effluent – Estimation of toxic potency – Apparatus and test methods*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application.....	40
2 Références normatives	40
3 Termes et définitions	41
4 Principes d'évaluation du danger toxique.....	48
4.1 Généralités	48
4.2 Dose d'exposition	48
4.3 Détermination des données de concentration en fonction du facteur temps	49
4.4 Asphyxiants et dose effective fractionnelle, <i>FED</i>	50
4.4.1 Généralités	50
4.4.2 Propriétés de la <i>FED</i>	51
4.4.3 Utilisation de la <i>FED</i>	52
4.5 Irritants et concentration effective fractionnelle, <i>FEC</i>	52
4.6 Dioxyde de carbone	52
4.7 Appauvrissement en oxygène	52
4.8 Contrainte thermique	52
4.9 Effets de la stratification et du transport des atmosphères de feu	53
5 Méthodes d'évaluation du danger toxique.....	53
5.1 Approche générale	53
5.2 Equations utilisées pour prédire la mort	53
5.2.1 Modèle de gaz toxique simple	53
5.2.2 Modèle N-gaz	53
5.2.3 Effet hyperventilatoire du dioxyde de carbone.....	54
5.2.4 Valeurs de potentiel toxique létal.....	54
5.2.5 Modèle de la perte de masse	54
5.3 Equations utilisées pour prédire l'incapacité	55
5.3.1 Modèle de gaz asphyxiant.....	55
5.3.2 Modèle de gaz irritant	55
5.3.3 Modèle de la perte de masse	56
6 Valeurs de potentiel toxique	56
6.1 Valeurs génériques de potentiel toxique	56
6.2 Valeurs de potentiel toxique obtenues à partir d'analyses chimiques	56
6.3 Valeurs de potentiel toxique obtenues à partir d'essais sur des animaux	56
7 Limitations de l'interprétation des résultats d'essai de toxicité.....	56
8 Composants d'effluents à mesurer	57
8.1 Rapport minimal	57
8.2 Rapport additionnel.....	57
8.2.1 Composants gazeux des effluents du feu	57
8.2.2 Particules en suspension dans l'air	58
Annexe A (informative) Lignes directrices pour l'utilisation des valeurs <i>LC</i> ₅₀	59
Annexe B (informative) Exemple simple traité pour illustrer les principes d'une analyse de risque toxique.....	62
Annexe C (informative) Valeurs <i>F</i> pour les irritants	66
Bibliographie	67

Figure 1 – Dose d'exposition en fonction de la durée et de la concentration	49
Figure 2 – Composantes du danger d'incendie en fonction de la durée	50
Figure 3 – <i>FED</i> totale et contributions, en fonction de la durée	51
Figure B.1 – Vitesse de propagation de la flamme pour les matériaux A et B	63
Figure B.2 – Risque toxique relatif de deux matériaux – en temps de létalité, c'est-à-dire <i>FED</i> ≥ 1	65
Tableau 1 – Quelques valeurs de potentiel toxique	54
Tableau 2 – Produits de la combustion	58
Tableau B.1 – Exemple de données de calcul de <i>FED</i> pour le matériau A	64
Tableau B.2 – Exemple de données de calcul de <i>FED</i> pour le matériau B	64
Tableau C.1 – Valeurs <i>F</i> pour les irritants	66

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60695-7-3 a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

Cette première édition annule et remplace la deuxième édition de la CEI/TS 60695-7-3, parue en 2004. Elle constitue une révision technique qui conduit au statut de Norme internationale.

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

La présente Norme internationale doit être utilisée conjointement avec la CEI 60695-7-1 et la CEI 60695-7-2.

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

- changement de désignation d'une spécification technique à une Norme internationale;
- mise à jour de l'Avant-propos, de l'Introduction et des Articles 1, 2 et 3;
- la norme a été étoffée dans tous les domaines, afin de préciser son alignement sur les travaux du TC 92 de l'ISO, *Sécurité au feu*, et en particulier sur l'ISO 13344, l'ISO 13571, l'ISO/CEI 13943, l'ISO 16312-1, l'ISO 16312-2, l'ISO 19701, l'ISO 19702 et l'ISO 19706;

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1058/FDIS	89/1072/RVD

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

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

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

La partie 7 est composée des parties suivantes:

- Partie 7-1: Toxicité des effluents du feu – Lignes directrices générales
- Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai
- Partie 7-3: Toxicité des effluents du feu – Utilisation et interprétation des résultats d'essai
- Partie 7-50: Toxicité de l'effluent 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 la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

Les produits électrotechniques sont parfois 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 danger toxique. Par exemple, dans les habitats et les lieux recevant du public, les produits électrotechniques constituent habituellement une source d'effluents du feu mineure par rapport à l'ameublement, par exemple.

Il convient de noter que la série de publications 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 Norme internationale 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 13344, l'ISO 13571, l'ISO 16312-1, l'ISO 16312-2, l'ISO 19701, l'ISO 19702 et l'ISO 19706. Des lignes directrices générales pour l'évaluation des dangers d'incendie des produits électrotechniques sont données dans la CEI 60695-1-10 et dans la CEI 60695-1-11.

En 1989, les points de vue suivants étaient exprimés dans l'ISO/TR 9122-1.

«Les essais de potentiel toxique à échelle réduite, 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 actuellement 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 élaboré la CEI 60695-7-50, et l'ISO a ensuite établi l'ISO/TS 19700 [1] ¹. Ces deux normes utilisent le même appareillage. Il s'agit d'un appareillage pratique à échelle réduite, qui est utilisé pour mesurer le potentiel toxique et qui, compte tenu de sa capacité à donner des modèles d'étapes définies d'un feu, fournit des données de potentiel toxique adaptées pour être utilisées dans l'évaluation d'un danger en vraie grandeur, avec des données additionnelles appropriées. Les deux méthodes utilisent les variations de débit d'air et de température pour donner différents modèles physiques de feu, mais la méthode d'essai de l'ISO utilise en plus le rapport d'équivalence comme paramètre clé.

Les manifestations des incendies et des accidents dus au feu, considérées 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 danger 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 rayonnante, 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 13571. La CEI 60695-6-1 fournit les lignes directrices générales concernant l'obscurcissement dû aux fumées.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

Le CE 89 de la CEI reconnaît que le meilleur moyen pour réduire efficacement le danger toxique provenant des produits électrotechniques 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 ainsi le niveau d'exposition aux effluents du feu et facilite la fuite.

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

La présente partie de la CEI 60695 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 danger toxique, compatibles avec l'approche du TC 92 SC 3 de l'ISO, telle qu'elle est définie dans l'ISO 13344, l'ISO 13571, l'ISO 16312-1, l'ISO 16312-2, l'ISO 19701, l'ISO 19702 et l'ISO 19706. Elle fournit également des indications pour l'utilisation des données de potentiel toxique dans l'évaluation du danger d'incendie et sur les principes qui mettent l'accent sur l'utilisation des informations sur la combustion et la toxicologie dans l'évaluation du danger d'incendie.

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

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

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

2 Références normatives

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

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

CEI 60695-1-11, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-11: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Evaluation des risques du feu*

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

CEI 60695-7-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu – Résumé et pertinence des méthodes d'essai*

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

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

ISO/CEI 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary* (disponible en anglais seulement)

ISO 13344:2004, *Détermination du pouvoir toxique létal des effluents du feu*

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

ISO 16312-1, *Lignes directrices pour évaluer la validité des modèles de feu physiques pour l'obtention de données sur les effluents du feu en vue de l'évaluation des risques et dangers – Partie 1: Critères*

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

ISO 19701, *Méthodes d'échantillonnage et d'analyse des effluents du feu*

ISO 19702, *Essais de toxicité des effluents du feu – Lignes directrices pour l'analyse des gaz et des vapeurs dans les effluents du feu par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)*

ISO 19706², *Lignes directrices pour l'évaluation des dangers du feu pour les personnes*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions issus de l'ISO/CEI 13943, dont certains sont repris ci-dessous par commodité pour l'utilisateur, s'appliquent.

3.1

asphyxiant

toxique induisant une hypoxie, pouvant entraîner une dépression du système nerveux central ou des effets cardio-vasculaires

NOTE Une perte de conscience et, finalement, la mort peuvent survenir.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.17]

3.2

brûler, verbe intransitif

être en état de combustion

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.28]

3.3

brûler, verbe transitif

déclencher un processus de combustion

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.29]

3.4

combustible, adjectif

susceptible d'être allumé et de brûler

² ISO 9122-1: *Essais de toxicité des effluents du feu – Partie 1: Généralités* a été annulée et remplacée par l'ISO 19706.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.43]

3.5

combustible, substantif
objet susceptible de donner lieu à une combustion

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.44]

3.6

combustion
réaction exothermique d'une substance avec un comburant

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

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.46]

3.7

concentration
masse par unité de volume

NOTE 1 Pour les effluents du feu, elle est exprimée en grammes par mètre cube ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 Pour un gaz toxique, la concentration s'exprime généralement en fraction volumique à $T = 298 \text{ K}$ et $P = 1 \text{ atm}$, et est exprimée en microlitres par litre ($\mu\text{L/L}$), qui équivaut à cm^3/m^3 ou 10^{-6} .

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

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.52]

3.8

concentration effective 50

EC_{50}

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

NOTE 1 Pour les effluents du feu, elle est exprimée en grammes par mètre cube ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 Pour un gaz toxique, elle est exprimée en microlitres par litre ($\mu\text{L/L}$) (à $T = 298 \text{ K}$ et $P = 1 \text{ atm}$); voir fraction volumique.

NOTE 3 L'effet observé est généralement une réponse comportementale indicative d'une incapacitation ou de la mort. La EC_{50} pour l'incapacitation est appelée IC_{50} . La EC_{50} pour la létalité est appelée LC_{50} .

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.72]

3.9

dose d'exposition effective 50

ECt_{50}

produit de la EC_{50} et de la durée d'exposition sur laquelle elle a été déterminée

NOTE 1 Pour les effluents du feu, elle est exprimée en grammes fois minutes par mètre cube ($\text{g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 Pour un gaz toxique, elle est exprimée en microlitres fois minutes par litre ($\mu\text{L} \times \text{min} \times \text{L}^{-1}$) (à $T = 298 \text{ K}$ et $P = 1 \text{ atm}$); voir fraction volumique.

NOTE 3 ECt_{50} est une mesure du potentiel toxique.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.73]

3.10

rapport d'équivalence

rapport combustible/air divisé par le rapport combustible/air nécessaire pour un mélange stœchiométrique

NOTE 1 La fraction volumique de l'oxygène dans l'air sec normal est de 20,95 %. En pratique, la concentration en oxygène dans l'air entraîné peut varier et le calcul du rapport d'équivalence par rapport à l'air sec normal est requis.

NOTE 2 Le rapport d'équivalence est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.81]

3.11

dose d'exposition

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

NOTE 1 Pour les effluents du feu, elle est exprimée en grammes fois minutes par mètre cube ($\text{g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$).

NOTE 2 Pour un gaz toxique, elle est exprimée en microlitres fois minutes par litre ($\mu\text{L} \times \text{min} \times \text{L}^{-1}$) ($T = 298 \text{ K}$ et $P = 1 \text{ atm}$); voir fraction volumique.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.89]

3.12

feu

(général) processus de combustion caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des flammes, une incandescence, ou par une combinaison de ces éléments

NOTE En anglais, le terme "fire" est utilisé pour désigner trois concepts, dont deux, fire (3.13) et fire (3.14), se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenue ayant des significations diverses, et deux d'entre eux sont désignés par deux termes différents, tant en français qu'en allemand.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.96]

3.13

feu

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

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.97]

3.14

incendie

(non contrôlé) combustion auto-entretenue qui n'a pas été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace n'est pas contrôlée

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.98]

3.15

effluents du feu

ensemble des gaz et aérosols, y compris les particules en suspension, dégagés par combustion ou par pyrolyse au cours d'un feu

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.105]

3.16

danger d'incendie

objet physique ou condition susceptible d'entraîner des conséquences non souhaitables causées par un incendie

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.112]

3.17

modèle feu

modélisation feu

méthode de calcul qui décrit un système ou un procédé relatif au développement d'un feu, y compris la dynamique et les effets du feu

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.116]

3.18

scénario d'incendie

description qualitative du déroulement d'un incendie dans le temps, identifiant les événements clés qui caractérisent l'incendie et le différencient des autres incendies potentiels

NOTE Il définit typiquement les processus d'allumage et de croissance du feu, le stade de feu complètement développé, le stade de déclin du feu ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.129]

3.19

propagation de flammes

progression d'un front de flammes

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.142]

3.20

embrasement généralisé

flashover

(stade d'incendie) passage à un état impliquant dans un incendie l'ensemble des surfaces des matériaux combustibles dans une enceinte

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.156]

3.21

concentration effective fractionnelle

FEC (fractional effective concentration)

rapport de la concentration d'un irritant à la concentration susceptible de produire un effet spécifique sur un individu exposé de sensibilité moyenne

NOTE 1 Le concept de toxicité FEC peut se référer à tous les effets, y compris l'incapacitation, la létalité ou autres effets résultants.

NOTE 2 Lorsqu'il n'est pas utilisé en référence à un irritant spécifique, le terme "FEC" représente le cumul des valeurs FEC pour tous les irritants dans l'atmosphère générée par le feu.

NOTE 3 La FEC est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.159]

3.22

dose effective fractionnelle

FED (fractional effective dose)

rapport de la dose d'exposition à un asphyxiant à la dose d'exposition susceptible de produire un effet déterminé sur un sujet exposé de sensibilité moyenne

NOTE 1 Le concept de dose effective fractionnelle peut se référer à tous les effets, y compris l'incapacitation, la létalité ou autres effets résultants.

NOTE 2 Lorsqu'il ne fait pas référence à un asphyxiant spécifique, le terme "FED" représente la somme des valeurs FED de tous les asphyxiants émis dans l'atmosphère de combustion.

NOTE 3 La dose effective fractionnelle est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.160]

3.23**feu pleinement développé**

état dans lequel l'ensemble des matériaux combustibles sont impliqués dans un incendie

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.164]

3.24**hyperventilation**

vitesse et/ou amplitude de la respiration supérieure à la normale

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.180]

3.25**allumage**

allumage persistant (déconseillé)

⟨général⟩ amorçage de la combustion

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.187]

3.26**incapacitation**

état d'incapacité physique d'accomplir une tâche spécifique

NOTE Un exemple de tâche spécifique consiste à réaliser une évacuation lors d'un incendie.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.194]

3.27**irritant**, substantif

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

NOTE Les réactions de défense physiologique comportent le réflexe de fermeture des paupières, la production de larmes, la toux, et la bronchoconstriction.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.203]

3.28**concentration létale 50** **LC_{50}**

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

NOTE 1 Pour les effluents du feu, elle est exprimée en grammes par mètre cube ($g \times m^{-3}$).

NOTE 2 Pour un gaz toxique, elle est exprimée en microlitres par litre ($\mu L/L$) (à $T = 298 K$ et $P = 1 atm$); voir fraction volumique.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.207]

3.29**dose létale d'exposition 50** **LCt_{50}**

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

NOTE 1 LCt_{50} est une mesure du potentiel toxique létal.

NOTE 2 Pour les effluents du feu, elle est exprimée en grammes fois minutes par mètre cube ($g \times min \times m^{-3}$).

NOTE 3 Pour un gaz toxique, elle est exprimée en microlitres fois minutes par litre ($\mu\text{L} \times \text{min} \times \text{L}^{-1}$) à $T = 298 \text{ K}$ et $P = 1 \text{ atm}$; voir fraction volumique.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.208]

3.30

taux de perte de masse

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

NOTE Il est exprimé en grammes par mètre cube ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.222]

3.31

taux de perte de masse

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

NOTE 1 La définition suppose que la masse est répartie uniformément dans le flux d'air au fil du temps.

NOTE 2 Il est exprimé en grammes par mètre cube ($\text{g} \times \text{m}^{-3}$).

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.223]

3.32

modèle physique du feu

procédé de laboratoire, incluant l'appareillage, l'environnement et le mode opératoire d'essai au feu, destiné à représenter une certaine étape d'un incendie

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.251]

3.33

pyrolyse

décomposition chimique d'une substance provoquée par l'action de la chaleur

NOTE 1 Le terme est souvent utilisé pour se référer à un stade du feu avant que la combustion avec flammes n'ait commencé.

NOTE 2 En science du feu, aucune hypothèse n'est émise quant à la présence ou l'absence d'oxygène.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.266]

3.34

essai au feu à petite échelle

essai au feu effectué sur une éprouvette d'essai de petites dimensions

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

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.292]

3.35

fumée

partie visible des effluents du feu

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.293]

3.36

toxique

nocif

NOTE Une substance toxique produit des effets nocifs sur un organisme vivant, tels qu'une irritation, une narcose ou la mort.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.335]

3.37**gaz toxique**

vapeur toxique

NOTE Dans le contexte des effluents du feu, le terme est généralement appliqué à un seul élément ou composé chimique.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.336]

3.38**danger toxique**

dommage potentiel résultant de l'exposition à des produits de combustion toxiques

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.337]

3.39**potentiel toxique**

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

NOTE Une petite valeur de potentiel toxique correspond à une valeur élevée de toxicité, et vice-versa.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.338]

3.40**toxique**, substantif**toxine**

substance toxique

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.340]

3.41**toxicité**

qualité de ce qui est toxique

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.341]

3.42**fraction volumique**

⟨gaz dans un mélange gazeux⟩ rapport du

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

NOTE 1 La concentration d'un gaz à la température T et à la pression P peut être calculée à partir de sa fraction volumique (considérant que le gaz est assimilé à un gaz parfait) en multipliant la fraction volumique par la masse volumique du gaz dans les mêmes conditions de température et de pression.

NOTE 2 Sauf indication contraire, on suppose la température égale à 298 K et la pression à 1 atm.

NOTE 3 La fraction volumique est une grandeur sans dimension et est généralement exprimée en microlitres par litre ($\mu\text{L/L}$), ce qui équivaut à cm^3/m^3 ou 10^{-6} , ou en pourcentage.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.351]

3.43**rendement**

masse d'un produit de combustion générée pendant la combustion, divisée par la perte de masse de l'éprouvette d'essai

NOTE Le rendement est une grandeur sans dimension.

[ISO/CEI 13943:2008, définition 4.354]

4 Principes d'évaluation du danger toxique

4.1 Généralités

L'évaluation du danger toxique est la discipline qui prédit le degré attendu de lésions sur les personnes ou de perte de biens résultant de l'action du feu. L'évaluation du danger toxique est la branche de l'évaluation du danger d'incendie qui s'occupe de l'effet des effluents du feu qui sont inhalés sur les personnes exposées. Des lignes directrices générales sur les dangers d'incendie des produits électrotechniques sont données dans la CEI 60695-1-10, et une description complète des antécédents techniques de l'évaluation des dangers d'incendie est donnée dans la CEI 60695-1-11. L'ISO 13571 traite des conséquences de l'exposition des personnes aux composants dangereux du feu, lorsque les occupants se déplacent dans une structure fermée, et elle comprend les effets des effluents du feu toxiques.

L'évaluation du danger toxique essaie de quantifier le dommage potentiel résultant de l'exposition à des produits de combustion toxiques. 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, le dioxyde de soufre et du chlorure d'hydrogène. 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.

4.2 Dose d'exposition

Pour la plupart des composants asphyxiants des effluents du feu, on considère communément que la sévérité de l'effet toxique est approximativement proportionnelle à la fois à la concentration et à la durée d'exposition. Il s'agit de la règle de Haber. 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 référer à l'ISO 13344 et à l'ISO 13571.

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 (voir aussi la Figure 1).

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

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.

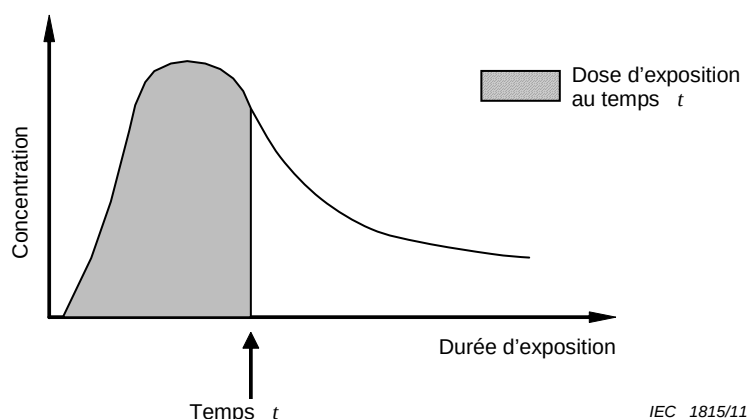


Figure 1 – Dose d'exposition en fonction de la durée et de la concentration

L'unité utilisée pour la dose d'exposition est la concentration multipliée par la durée, généralement exprimée en grammes par mètre cube. Parfois la fraction de volume (voir 3.42) est utilisée au lieu de la concentration et les doses d'exposition sont alors d'habitude citées dans les unités de $10^{-6} \times \text{min}$. 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 possèdera 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 son potentiel toxique est connu ou peut être estimé). 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».

4.3 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:

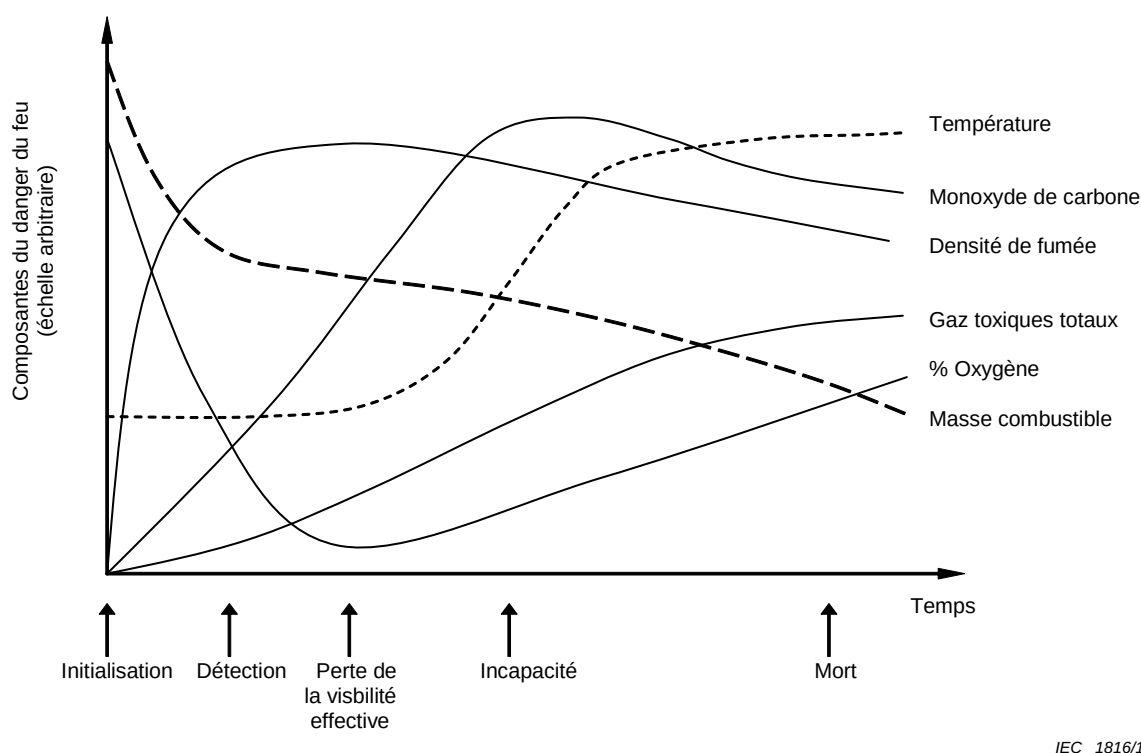
- a) par une mesure directe dans une simulation en vraie grandeur du scénario d'incendie; ou
- b) par le calcul de la vitesse de perte de masse des combustibles dans un modèle de scénario d'incendie.

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 de feu ont été développés jusqu'à présent pour des environnements simples, et ils nécessitent généralement comme données d'entrée non seulement les caractéristiques du scénario d'incendie, mais aussi la vitesse de perte de masse en fonction de la durée, 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 énergétique 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 énergétiques 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 d'incendie peut être obtenu en sortie, comme illustré à la Figure 2.



IEC 1816/11

Figure 2 – Composantes du danger d'incendie en fonction de la durée

4.4 Asphyxiants et dose effective fractionnelle, *FED*

4.4.1 Généralités

Le potentiel toxique d'un composant asphyxiant est caractérisé 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», EC_{t50} . Plus la valeur EC_{t50} 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 danger 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 *FED* [3].

$$FED = \frac{\text{dose d'exposition}}{\text{dose d'exposition effective}} = \frac{\int C \times dt}{EC_{t50}} \quad (1)$$

Le numérateur, la dose d'exposition, est déterminé par le comportement au feu du produit et le scénario d'incendie. Le dénominateur, la dose d'exposition effective 50, ECt_{50} , est le seul endroit dans l'expression où apparaît le potentiel toxique. Les données du potentiel 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 $FED = 1$), 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 FED 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 FED

La FED est une grandeur 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;
- le volume du compartiment dans lequel l'effluent est dispersé, et
- le potentiel toxique de l'effluent du feu.

Pour un scénario donné, la FED 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:

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

et la FED 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.

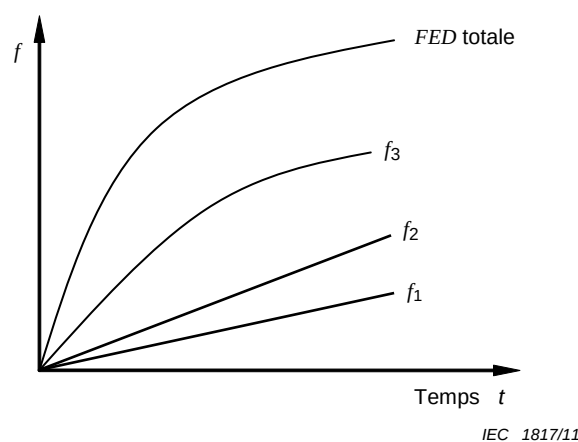


Figure 3 – FED totale et contributions, en fonction de la durée

4.4.3 Utilisation de la *FED*

Les utilisations de la *FED* incluent la détermination de ce qui suit:

- le moment auquel l'atmosphère devient instable (cela exige que la *FED* 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 d'incendie de référence.

4.5 Irritants et concentration effective fractionnelle, *FEC*

L'irritation sensorielle/du système respiratoire supérieur stimule les récepteurs nerveux des yeux, du nez, de la gorge et de l'appareil respiratoire supérieur. Lorsqu'on examine l'incapacitation, les effets semblent être liés uniquement à la concentration. Les effets 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 irritant de l'analyse de danger toxique ne concerne que la concentration de chaque irritant. Les concentrations effectives fractionnelles (*FEC*) 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 aux critères de sécurité choisis.

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

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.

NOTE Les composants toxiques irritants peuvent également être létaux et, dans ce cas, c'est la dose d'exposition qui est pertinente, voir 5.2.

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 *FED* prennent cet élément en compte – voir l'ISO 13344 et l'ISO 13571.

4.7 Appauvrissement en oxygène

De faibles concentrations en oxygène sont nocives, et certaines formules pour le calcul des valeurs *FED* prennent cet élément en compte – voir l'ISO 13344 et [4].

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 [5], [6], et un terme de contrainte thermique peut être ajouté au calcul de la *FED* – voir l'ISO 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'effluents du feu dans des environnements physiques spécifiques.

5 Méthodes d'évaluation du danger toxique

5.1 Approche générale

L'objectif de l'évaluation du danger toxique est de calculer la *FED* et/ou la *FEC* 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 d'incendie». 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 censées 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 danger toxique distinct est associé à chacun d'eux. Les valeurs *FED* et/ou *FEC* sont calculées pour chaque scénario identifié.

5.2 Equations utilisées pour prédire la mort

5.2.1 Modèle de gaz toxique simple

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

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

où

$[\int C \times dt]_i$ 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 *FED* totale atteint un, la mort est supposée survenir.

5.2.2 Modèle N-gaz

Cette utilisation du principe *FED* a été désignée par le terme «modèle N-gaz» par le National Institute of Standards and Technology (NIST) [7].

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.

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

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 à mesure que la concentration en dioxyde de carbone augmente;

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 Effet hyperventilatoire du dioxyde de carbone

Lorsque la fraction volumique de CO_2 dépasse 0,02, il convient de multiplier les valeurs de la FED par un facteur de fréquence, v_{CO_2} , pour tenir compte de l'augmentation de la vitesse d'absorption d'asphyxiant due à l'hyperventilation.

$$v_{CO_2} = \exp(X_{CO_2} / 0,05) \quad (7)$$

où X_{CO_2} est égal à la fraction volumique du dioxyde de carbone (voir ISO 13571).

5.2.4 Valeurs de potentiel toxique létal

Les valeurs LCt_{50} utilisées dans les Equations (5), (6) et (8) sont données ci-dessous au Tableau 1.

Tableau 1 – Quelques valeurs de potentiel toxique

(Tirées de l'ISO 13344)

Composant toxique	Valeur $LC_{50} \times 10^6$ (30 min d'exposition, valeur de fraction volumique)	Valeur $LCt_{50} \times 10^6$ (min)
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 Modèle de la perte de masse

Dans le modèle de perte de masse, les évaluations du danger d'incendie 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.

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

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 $j^{ème}$ 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 d'incendie est de comparer deux produits électrotechniques, ou lorsque le produit électrotechnique contribue pour une part relativement faible au danger total.

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 danger 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. Les doses effectives fractionnelles (FED) sont déterminées pour chaque asphyxiant à chaque palier de la durée. Le moment où leur somme accumulée dépasse une valeur de seuil spécifiée, représente le temps disponible pour s'échapper par rapport aux critères de sécurité choisis.

Pour le monoxyde de carbone, la ECt_{50} pour l'incapacitation est de 0,035 min [9].

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

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\{\exp(\phi_{HCN} / 4,3 \times 10^{-5})\} - 1}{220 \text{ min}} \times \Delta t \quad (9)$$

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} to 400×10^{-6} .

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 l'ISO 13571).

5.3.2 Modèle de gaz irritant

Les concentrations effectives fractionnelles (FEC) 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 aux critères de sécurité choisis – 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 *FED* 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 potentiel toxique létal 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 [10]. 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 l'ISO 13571.

6 Valeurs de potentiel toxique

6.1 Valeurs génériques de potentiel toxique

Il est souvent possible d'établir des premières approximations pour l'évaluation du danger, en utilisant des valeurs moyennes ou génériques de potentiel 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 LCt_{50} 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. 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 13571. La validité de cette convention peut être vérifiée en recalculant le résultat d'une évaluation du danger toxique là où les valeurs de potentiel toxique utilisées 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 potentiel toxique pour les matériaux et les produits électrotechniques en question.

6.2 Valeurs de potentiel 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 1 (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 potentiels toxiques de tous les gaz individuels communs produits dans les incendies ont déjà été déterminés par l'exposition d'animaux. Avec des données analytiques suffisantes, elle permet le traitement du potentiel toxique comme valeur unique pour une étape donnée d'incendie.

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

Tous les potentiels toxiques sont en définitive basés 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 potentiel toxique constituent une base inappropriée pour la détermination du danger d'incendie 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 potentiel 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 d'incendie 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 un potentiel toxique anormalement élevé. Cependant, il n'existe à l'heure actuelle (2011), aucun exemple enregistré d'incendie dans lequel le danger serait le résultat d'un potentiel toxique extrême.

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 danger toxique léthal. 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'effluents 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 2 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. A l'exception de la vapeur d'eau, ils contribueront tous au danger 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 (voir la CEI 60695-1-40), les espèces toxiques suivantes peuvent être produites:

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

La production de ces espèces toxiques n'est pas limitée aux huiles isolantes électriques.

Tableau 2 – Produits de la combustion

Elément(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)

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.

Annexe A **(informative)**

Lignes directrices pour l'utilisation des valeurs LC_{50}

A.1 Généralités

Le potentiel toxique de l'effluent provenant de la combustion ou de la pyrolyse d'un produit est le plus souvent caractérisé 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 danger toxique des incendies se sont concentrées sur les effets menant directement à la mort. Le potentiel toxique létal d'un composant toxique est caractérisé 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 danger

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 danger 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 le potentiel 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-embrasement 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 *FED* est utilisée, il convient que les composants d'effluents toxiques soient déterminés par des analyses chimiques.

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} [11]. 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 le potentiel 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, le potentiel 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 l'effluent du feu devient plus toxique.

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 *FED* 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 $5 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$. 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 $25 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ [12]. 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.

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 le potentiel toxique à échelle réelle à un facteur 3 environ [13]. Par conséquent, les valeurs LC_{50} pour l'effluent de feu de post-embrasement éclair entre $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ ($25 \div 3$) et $75 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ (25×3) sont indiscernables. Puisque tous les effluents du feu de post-embrasement éclair ont des valeurs de LC_{50} inférieures ou égales à $25 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, toutes les valeurs LC_{50} d'un effluent de feu de post-embrasement éclair supérieures à $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, 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 $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ 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 décrits comme «ayant une LC_{50} supérieure à $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$ ». Des exemples possibles sont:

- 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;
- les 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 à $8 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$;
- 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 potentiel 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 toxicité est vraiment prononcée. Noter que cela s'applique seulement aux scénarios de post-embrasement éclair.

Annexe B (informative)

Exemple simple traité pour illustrer les principes d'une analyse de risque toxique

NOTE Cet exemple ne fait pas référence à un produit électrotechnique, mais les principes généraux mis en œuvre sont valables pour les produits électrotechniques.

B.1 Scénario du problème

Un changement du matériau de revêtement du sol d'un local est envisagé. Il est prévu que, si le matériau est enflammé par une petite source d'allumage, il convient que la vitesse de développement d'un risque toxique due au nouveau matériau (matériau B) ne soit pas pire que celle de l'ancien matériau (matériau A). On considère que le scénario le plus probable impliquerait un local clos, dans lequel l'envahissement par la fumée serait rapide et où l'effluent pourrait être considéré comme mélangé de manière homogène dans tout le volume du local (c'est-à-dire que les effets de stratification peuvent être considérés très transitoires et peuvent être ignorés). Dans l'exemple traité, la toxicité de l'effluent du feu du matériau B est le double de celle du matériau A, bien qu'il brûle plus lentement une fois enflammé.

B.2 Informations disponibles

Le volume de la pièce est de 40 m^3 . Les matériaux de revêtement du sol ont une masse surfacique de 4 kg/m^2 . Des essais de combustion horizontale ont montré que les deux matériaux brûlent rapidement avec un front de combustion complète qui part du point d'allumage. Les deux matériaux perdent $3 \text{ kg} \times \text{m}^{-2}$ de masse en brûlant. Pour le matériau A, la vitesse de propagation de la flamme est de $10 \text{ cm} \times \text{min}^{-1}$ alors que, pour le matériau B, elle n'est que de $5 \text{ cm} \times \text{min}^{-1}$. Néanmoins, des essais au feu à petite échelle ont montré que, dans des conditions de combustion vive bien ventilée, l'effluent du feu du matériau B est deux fois plus toxique (c'est-à-dire présente une valeur de potentiel toxique inférieure de moitié) que l'effluent du feu du matériau A.

Potentiels toxiques fondés sur la concentration de perte de masse:

Matériau A: $LC_{50} = 20 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, dose d'exposition létale 50 = $600 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$.

Matériau B: $LC_{50} = 10 \text{ g} \times \text{m}^{-3}$, dose d'exposition létale 50 = $300 \text{ g} \times \text{min} \times \text{m}^{-3}$.

B.3 Analyse du risque

Si l'on suppose une source d'allumage ponctuelle, les deux matériaux vont brûler complètement, et un cercle de surface brûlée va s'étendre à partir du point d'allumage (voir Figure B.1). Etant donné que le matériau A brûle deux fois plus vite que le matériau B, la surface du matériau A qui est consumée sera quatre fois celle du matériau B à tout moment pendant les premières étapes du feu.

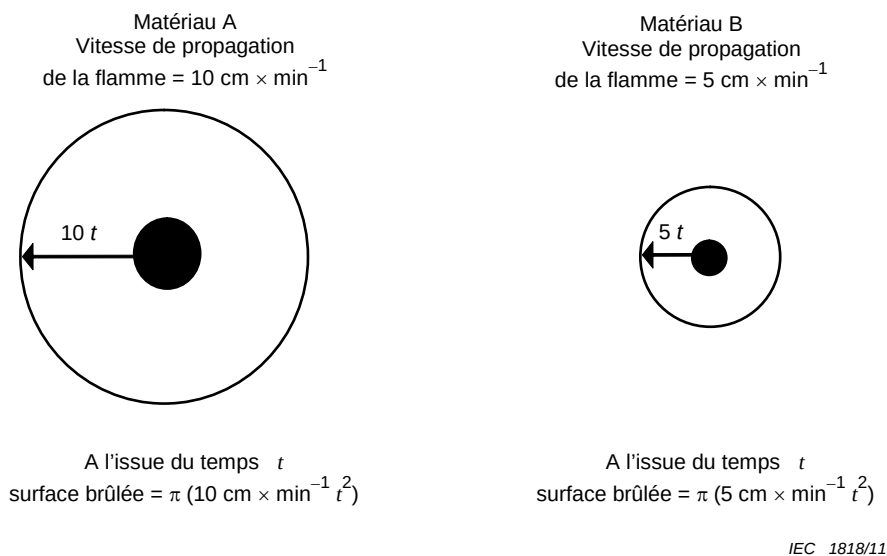


Figure B.1 – Vitesse de propagation de la flamme pour les matériaux A et B

Pour le matériau A, la concentration de perte de masse, C , au moment t , est donnée par l'équation:

$$C = \text{surface brûlée} \times \text{perte de masse par unité de surface} \div \text{volume du local}$$

$$= 3,1416 \times (10 \text{ cm} \times \text{min}^{-1} \times t)^2 \times 0,3 \text{ kg} \times \text{m}^{-2} \div 40 \text{ m}^3$$

$$= 2,356 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}^{-2} \times t^2$$

$$\text{La dose d'exposition} = \int C \times dt = 2,356 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}^{-2} \times t^3/3$$

Le Tableau B.1 donne les valeurs calculées pour le matériau A. La *FED* pour chaque temps est la dose d'exposition au moment correspondant, divisée par la dose d'exposition létale 50 pour ce matériau. Lorsque la *FED* atteint l'unité, le point toxicologique final, dans ce cas la mort, est prévu.

Les valeurs correspondantes pour le matériau B sont indiquées au Tableau B.2.

La Figure B.2 est un graphique qui montre les résultats des calculs de *FED* pour les matériaux A et B dans le local de 40 m^3 . L'analyse montre que les conditions de létalité sont atteintes après environ 9 min pour le matériau A et environ 2,5 min plus tard pour le matériau B.

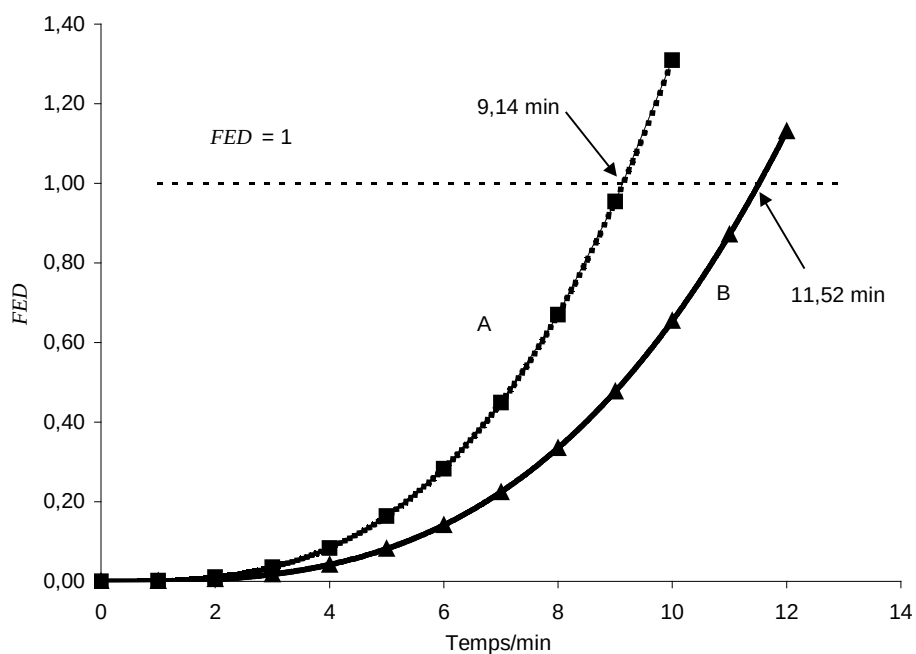
On peut ainsi en conclure que le matériau B présente un risque toxique moindre que le matériau A dans ce scénario, bien que l'effluent du feu du matériau B soit deux fois plus toxique que celui du matériau A.

Tableau B.1 – Exemple de données de calcul de *FED* pour le matériau A

Durée	Surface brûlée	Masse brûlée	Concentration de perte de masse au temps t	Concentration de perte de masse (intégrée sur le temps) = dose d'exposition	<i>FED</i>
min	cm ²	g	g × m ⁻³	g.min × m ⁻³	
0	0	0	0,0	0,0	0,000
1	314	94	2,4	0,8	0,001
2	1 257	377	9,4	6,3	0,010
3	2 827	848	21,2	21,2	0,035
4	5 027	1 508	37,7	50,3	0,084
5	7 854	2 356	58,9	98,2	0,164
6	11 310	3 393	84,8	169,6	0,283
7	15 394	4 618	115,5	269,4	0,449
8	20 106	6 032	150,8	402,1	0,670
9	25 447	7 634	190,9	572,6	0,954
10	31 416	9 425	235,6	785,4	1,309

Tableau B.2 – Exemple de données de calcul de *FED* pour le matériau B

Durée	Surface brûlée	Masse brûlée	Concentration de perte de masse au temps t	Concentration de perte de masse (intégrée sur le temps) = dose d'exposition	<i>FED</i>
min	cm ²	g	g × m ⁻³	g.min × m ⁻³	
0	0	0	0,0	0,0	0,000
1	79	24	0,6	0,2	0,001
2	314	94	2,4	1,6	0,005
3	707	212	5,3	5,3	0,018
4	1 257	377	9,4	12,6	0,042
5	1 964	589	14,7	24,5	0,082
6	2 827	848	21,2	42,4	0,141
7	3 848	1 155	28,9	67,3	0,224
8	5 027	1 508	37,7	100,5	0,335
9	6 362	1 909	47,7	143,1	0,477
10	7 854	2 356	58,9	196,4	0,655
11	9 503	2 851	71,3	261,3	0,871
12	11 310	3 393	84,8	339,3	1,131



IEC 1819/11

Matériau A: potentiel toxique $600 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}$, propagation de la flamme $10 \text{ cm} \times \text{min}^{-1}$.

Matériau B: potentiel toxique $300 \text{ g} \times \text{m}^{-3} \times \text{min}$, propagation de la flamme $5 \text{ cm} \times \text{min}^{-1}$.

Scénario: propagation de la flamme horizontale sur un revêtement de sol dans un local clos de 40 m^3 .

Figure B.2 – Risque toxique relatif de deux matériaux – en temps de létalité, c'est-à-dire $FED \geq 1$

Annexe C (informative)

Valeurs F pour les irritants

Les fractions volumiques des gaz irritants supposés compromettre gravement la capacité des occupants à entreprendre une action effective pour s'échapper (valeurs F), pour certains des irritants les plus importants, sont données au Tableau C.1.

Tableau C.1 – Valeurs F pour les irritants

(Tirées de l'ISO 13571)

Irritant	Valeur $F \times 10^6$
Acroléine	30
Dioxyde de soufre	150
Formaldéhyde	250
Dioxyde d'azote	250
Fluorure d'hydrogène	500
Bromure d'hydrogène	1 000
Chlorure d'hydrogène	1 000

Bibliographie

- [1] ISO/TS 19700:2007, *Méthode du rapport d'équivalence contrôlée pour la détermination des substances dangereuses des effluents du feu*
- [2] Hartzell, G.E., *Smoke toxicity test development and use: Historical perspectives relevant to today's issues*. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London.
- [3] Hartzell, G.E., and Emmons, H.E., *The Fractional Effective Dose Model for Assessment of Hazards Due to Smoke from Materials*, Journal of Fire Sciences, 6, (5), pp. 356-362 (1988)
- [4] Levin, B.C., Paabo, M., Gurman, J.L. and Harris, S.E., *Effects of exposure to single and multiple combination of the predominant toxic gases and low oxygen atmospheres produced in fires*. Fundamental and Applied Toxicology. 9, 236-250 (1987).
- [5] *Engineering Guide for Predicting 1st and 2nd Degree Skin Burns* (2000), Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD
- [6] Crane, C., *Human Tolerance Limit to Elevated Temperature: An Empirical Approach to the Dynamics of Acute Thermal Collapse*, Federal Aviation Administration, Memorandum Report No. ACC-114-78-2, 1978.
- [7] Babrauskas, V., Levin, B.C., Gann, R.G., Paabo, M., Harris, R.H., Peacock, R.D., Yusa, S., *Toxic potency measurements for fire hazard analysis*. NIST Special Publication 827, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA (1991).
- [8] Kaplan, H. L., Grand, A. F., Switzer, W. G., Mitchell, D. S., Rogers, W. R. and Hartzell, G. E., *Effects of Combustion Gases on Escape Performance of the Baboon and the Rat*, J. Fire Sciences, 3 (4), pp. 228-244 (1985).
- [9] Purser, D.A., *Physiological effects of combustion products*. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London.
- [10] Gann, R.G., *Fire effluent, people, and standards: Standardization philosophy for the effects of fire effluent on human tenability*. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London.
- [11] Gann, R.G., Babrauskas, V., Peacock, R.D., and Hall, Jr., J.R., *Fire Conditions for Smoke Toxicity Measurements*. Fire and Materials, 18, 193-199 (1994).
- [12] Babrauskas, V., Harris, R.H., Braun, E., Levin, B.C., Paabo, M., and Gann, R.G., *The Role of Bench-Scale Test Data in Assessing Full-Scale Toxicity*, NIST Technical Note 1284, National Institute for Standards and Technology USA (1991).
- [13] Babrauskas, V., Levin, B.C., Gann, R.G., Paabo, M., Harris, R.H., Peacock, R.D., Yusa, S., *Toxic potency measurements for fire hazard analysis*. NIST Special Publication 827, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA (1991).
- [14] CEI 60695-6-1:2005, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 6-1: Opacité des fumées – Lignes directrices générales*

- [15] CEI/TS 60695-7-50:2002, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7-50: Toxicité de l'effluent du feu – Estimation de la puissance toxique – Appareillage et méthode d'essai*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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