

# RAPPORT TECHNIQUE

# TECHNICAL REPORT

**CEI  
IEC**

**60695-7-3**

Première édition  
First edition  
1998-12

---

---

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ  
BASIC SAFETY PUBLICATION

---

---

## **Essais relatifs aux risques du feu –**

### **Partie 7-3:**

#### **Toxicité de l'affluent du feu –**

#### **Utilisation et préparation des résultats d'essai**

## **Fire hazard testing –**

### **Part 7-3:**

#### **Toxicity of fire effluent –**

#### **Use and interpretation of test results**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60695-7-3:1998

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

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

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI\***
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

# RAPPORT TECHNIQUE–TYPE 2

**CEI  
IEC**

## TECHNICAL REPORT–TYPE 2

**60695-7-3**

Première édition  
First edition  
1998-12

---

---

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ  
BASIC SAFETY PUBLICATION

---

---

### **Essais relatifs aux risques du feu –**

#### **Partie 7-3:**

#### **Toxicité de l'affluent du feu –**

#### **Utilisation et préparation des résultats d'essai**

### **Fire hazard testing –**

#### **Part 7-3:**

#### **Toxicity of fire effluent –**

#### **Use and interpretation of test results**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**S**

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                                 | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                              | 4     |
| INTRODUCTION .....                                                                                              | 8     |
| Articles                                                                                                        |       |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                   | 10    |
| 2 Références normatives.....                                                                                    | 10    |
| 3 Termes et définitions.....                                                                                    | 12    |
| 4 Principes d'évaluation du danger toxique .....                                                                | 12    |
| 5 Méthodes d'évaluation du danger toxique .....                                                                 | 14    |
| 5.1 Base de l'évaluation des dangers de l'incendie .....                                                        | 14    |
| 5.2 Evaluation du danger toxique .....                                                                          | 14    |
| 5.2.1 Approche globale .....                                                                                    | 14    |
| 5.2.2 Dose effective fractionnelle (DEF) .....                                                                  | 16    |
| 5.2.3 Approches pour estimer une dose d'exposition, $C_t$ .....                                                 | 20    |
| 5.2.4 Approches pour exprimer la puissance toxique .....                                                        | 24    |
| 6 Composants d'effluent à mesurer et valeurs de puissance toxique .....                                         | 28    |
| 6.1 Rapport minimal.....                                                                                        | 28    |
| 6.1.1 Composants gazeux d'effluent du feu .....                                                                 | 28    |
| 6.1.2 Autres composants.....                                                                                    | 28    |
| 6.2 Rapport additionnel .....                                                                                   | 28    |
| Annexe A (informative) Effets secondaires des conditions d'incendie sur les dangers toxiques .....              | 30    |
| A.1 Généralités.....                                                                                            | 30    |
| A.2 Effets des irritants .....                                                                                  | 30    |
| A.3 Interaction du dioxyde de carbone avec le monoxyde de carbone .....                                         | 30    |
| A.4 Effets de l'appauvrissement en oxygène .....                                                                | 30    |
| A.5 Effets de températures élevées (contrainte thermique).....                                                  | 30    |
| A.6 Effets de stratification et de transport des atmosphères de feu .....                                       | 30    |
| Annexe B (informative) Guide pour l'utilisation des valeurs $LC_{50}$ .....                                     | 32    |
| B.1 Généralités.....                                                                                            | 32    |
| B.2 Danger limite.....                                                                                          | 32    |
| B.3 Utilisation des valeurs $LC_{50}$ dans des types spécifiques d'incendies .....                              | 32    |
| B.3.1 Feux couvants.....                                                                                        | 32    |
| B.3.2 Feux de combustion vive, de pré-embrasement éclair .....                                                  | 32    |
| B.3.3 Feux de combustion vive, de post-embrasement éclair .....                                                 | 34    |
| B.3.3.1 Généralités.....                                                                                        | 34    |
| B.3.3.2 Augmentation du monoxyde de carbone.....                                                                | 34    |
| B.3.3.3 Simplification des valeurs de $LC_{50}$ .....                                                           | 36    |
| Annexe C (informative) Exemple simple traité pour illustrer les principes d'une analyse de danger toxique ..... | 40    |
| C.1 Scénario du problème .....                                                                                  | 40    |
| C.2 Information disponible.....                                                                                 | 40    |
| C.3 L'analyse du danger.....                                                                                    | 40    |
| Figures                                                                                                         |       |
| 1 La DEF totale et les contributions individuelles sont dépendantes du temps .....                              | 20    |
| 2 Dépendance temporelle typique de la concentration des fumées.....                                             | 22    |
| 3 Dépendance temporelle des composantes du danger du feu .....                                                  | 24    |
| Bibliographie .....                                                                                             | 44    |

## CONTENTS

|                                                                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                                                              | Page |
| FOREWORD .....                                                                                               | 5    |
| INTRODUCTION .....                                                                                           | 9    |
| <br>Clause                                                                                                   |      |
| 1 Scope .....                                                                                                | 11   |
| 2 Normative references .....                                                                                 | 11   |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                | 13   |
| 4 Principles of toxic hazard assessment .....                                                                | 13   |
| 5 Methods of toxic hazard assessment .....                                                                   | 15   |
| 5.1 Background on fire hazard assessment .....                                                               | 15   |
| 5.2 Toxic hazard assessment .....                                                                            | 15   |
| 5.2.1 General approach.....                                                                                  | 15   |
| 5.2.2 Fractional effective dose ( <i>FED</i> ) .....                                                         | 17   |
| 5.2.3 Approaches to estimating exposure dose, ( <i>Ct</i> ).....                                             | 21   |
| 5.2.4 Approaches to expressing toxic potency .....                                                           | 25   |
| 6 Effluent components to be measured and toxic potency values .....                                          | 29   |
| 6.1 Minimum reporting .....                                                                                  | 29   |
| 6.1.1 Gaseous fire effluent components .....                                                                 | 29   |
| 6.1.2 Other components.....                                                                                  | 29   |
| 6.2 Additional reporting .....                                                                               | 29   |
| Annex A (informative) Secondary effects of fire conditions on toxic hazards .....                            | 31   |
| A.1 General .....                                                                                            | 31   |
| A.2 Effects of irritants .....                                                                               | 31   |
| A.3 Interaction of carbon dioxide and carbon monoxide .....                                                  | 31   |
| A.4 Effects of oxygen depletion .....                                                                        | 31   |
| A.5 Effects of elevated temperatures (heat stress) .....                                                     | 31   |
| A.6 Effects of stratification and transport of fire atmospheres .....                                        | 31   |
| Annex B (informative) Guidance for the use of <i>LC<sub>50</sub></i> values .....                            | 33   |
| B.1 General .....                                                                                            | 33   |
| B.2 Limiting hazard .....                                                                                    | 33   |
| B.3 Use of <i>LC<sub>50</sub></i> values in specific types of fires .....                                    | 33   |
| B.3.1 Smouldering fires .....                                                                                | 33   |
| B.3.2 Flaming, pre-flashover fires .....                                                                     | 33   |
| B.3.3 Flaming, post-flashover fires .....                                                                    | 35   |
| B.3.3.1 General .....                                                                                        | 35   |
| B.3.3.2 Enhanced carbon monoxide .....                                                                       | 35   |
| B.3.3.3 Simplification of <i>LC<sub>50</sub></i> values.....                                                 | 37   |
| Annex C (informative) Simple worked example to illustrate the principles<br>of a toxic hazard analysis ..... | 41   |
| C.1 The problem scenario .....                                                                               | 41   |
| C.2 Information available .....                                                                              | 41   |
| C.3 Hazard analysis .....                                                                                    | 41   |
| <br>Figures                                                                                                  |      |
| 1 Total FED and each contributor, both are time-dependent.....                                               | 21   |
| 2 Typical time dependence of smoke concentration .....                                                       | 23   |
| 3 Time dependent behaviour of the components of fire hazard.....                                             | 25   |
| Bibliography .....                                                                                           | 45   |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

#### Partie 7-3: Toxicité de l'effluent du feu – Utilisation et interprétation des résultats d'essai

#### AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La présente première édition de la CEI 60695-7-3, rapport technique du type 2 a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## FIRE HAZARD TESTING –

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

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

This first edition of IEC 60695-7-3 which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

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

| Projet de comité | Rapport de vote |
|------------------|-----------------|
| 89/256/CDV       | 89/291/RVC      |

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.3.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des essais relatifs aux risques du feu, traversées, car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

Ce rapport technique doit être utilisé conjointement avec la CEI 60695-7-1 et la CEI 60695-7-4.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.



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

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

| Committee draft | Report on voting |
|-----------------|------------------|
| 89/256/CDV      | 89/291/RVC       |

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.3.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of fire hazard testing because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 of technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years, or conversion to an International Standard, or withdrawal.

This technical report is to be used in conjunction with IEC 60695-7-1 and IEC 60695-7-4.

Annexes A, B and C are for information only.

## INTRODUCTION

Le guide proposé dans ce rapport technique correspond aux principes de sécurité contre l'incendie développés par l'ISO TC92 SC3 sur les dangers toxiques du feu [1-6]\*. L'approche des systèmes recommandés est considérée comme une avancée majeure dans l'approche du développement des normes sur l'incendie.

Le présent rapport technique suit directement les CEI 60695-7-1. Les essais à petite échelle sur la toxicité, comme nous les connaissons aujourd'hui, ne sont pas valides en tant que normes appliquées directement aux produits et matériaux électrotechniques. Données de puissance toxique, telles que celles qui sont fournies par les méthodes d'essai à petite échelle, on peut seulement utiliser comme l'un des paramètres d'entrée pour évaluer le danger toxique.

L'évaluation du danger toxique est la partie de l'évaluation du danger d'incendie dans laquelle les effets toxiques des effluents du feu sont évalués. Le guide général est examiné dans la CEI 60695-7-1. C'est l'intention de CEI CE 89 de publier un sommaire des méthodes d'essais et leur interprétation dans le futur prochain. Ce rapport technique fournit un guide sur l'utilisation et l'interprétation des résultats d'essais de puissance toxique en évaluant le danger toxique comme une partie du danger d'incendie total.

Lors de l'interprétation des données obtenues par des méthodes d'essai de puissance toxique, il est important de reconnaître que pour produire des concentrations d'effluent du feu suffisantes pour mesurer leur effet incapacitant ou létal, les éprouvettes sont soumises à décomposition. Tous les avantages de stabilité thermique ou de combustibilité possédés par une éprouvette sont annulés par l'essai, soit par des conditions d'exposition très sévères, soit par une élévation continue de la température pendant l'essai. Ces conditions d'essai en laboratoire sont donc nécessairement artificielles et ne sont pas destinées à remplacer des situations d'incendie réelles.

Tout essai concernant l'évaluation de la puissance, qui se veut utile pour évaluer les risques toxiques, est sensé fournir un moyen de connaître la concentration d'effluent du feu dans l'appareil d'essai qui est liée à la perte de masse de l'éprouvette. Dans des incendies réels, la concentration d'effluent du feu est déterminée par la dynamique du feu et les caractéristiques de combustibilité des produits en combustion. Dans un essai de puissance toxique, la concentration est fixée par l'expérimentateur. Ces procédures sont nécessaires au toxicologue afin d'obtenir des concentrations d'effluents du feu quantifiées utilisables en essai, mais elles définissent également de façon inhérente des limitations sur l'utilisation des données. C'est pourquoi la puissance toxique seule ne peut être utilisée pour n'importe quel type de décision en matière de sécurité contre l'incendie; il convient donc de l'utiliser uniquement comme donnée d'entrée pour des évaluations de dangers qui incorporent aussi des informations pertinentes et nécessaires sur la combustibilité, la quantité de produit en combustion et l'environnement dans lequel l'incendie a lieu.

\* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

## INTRODUCTION

The guidance in this technical report is consistent with principles of fire safety developed by ISO TC 92 SC 3 on toxic hazards in fire [1-6]\*. The recommended systems approach is believed to be a major advance to fire standards development.

This technical report follows directly from IEC 60695-7-1. Small-scale toxicity tests as we know them today are not valid as directly applied standards for electrotechnical materials and products. Toxic potency data, such as provided by small-scale test methods, should be used only as one of the input parameters for toxic hazard assessment.

Toxic hazard assessment is that part of fire hazard assessment in which the toxic effects of fire effluent are evaluated. General guidance is reviewed in IEC 60695-7-1. It is the intention of IEC TC 89 to publish a summary and relevance of test methods in the near future. This technical report provides guidance on the use and interpretation of results from toxic potency tests in assessing toxic hazard, a part of total fire hazard.

In interpreting the data generated by toxic potency test methods, it is important to recognize that, in order to produce concentrations of fire effluent sufficient to measure their incapacitating or lethal effects, test specimens are forced to decompose. Any advantages in thermal stability or combustibility possessed by a specimen are overridden by the test, either by testing under very severe exposure conditions or by continuously increasing temperature during the test. Thus, laboratory test conditions are necessarily artificial and are not intended to substitute for real fire situations.

Any test for assessing potency which is to be useful for toxic hazard assessment, needs to provide a way of knowing the concentration of fire effluent in the test apparatus and relating it to the mass loss of the test specimen. In real fires, the concentration of the fire effluent is determined by fire dynamics and the combustibility characteristics of the burning products. In toxic potency testing, the concentration is set by the experimenter. These procedures are necessary to the toxicologist in order to get quantified testable concentrations of fire effluents, but they also inherently define limitations on use of data. This is why toxic potency alone cannot be used for any type of decision in fire safety, and should only be used as data input for hazard assessments which also incorporate relevant and necessary combustibility information, the amount of product burning and the environment in which the fire takes place.

---

\* Figures in square brackets refer to the bibliography.

## ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

### Partie 7-3: Toxicité de l'effluent du feu – Utilisation et interprétation des résultats d'essai

#### 1 Domaine d'application

Le présent rapport technique fournit un guide sur l'utilisation et l'interprétation des résultats obtenus lors d'essais en laboratoire. Elle traite des approches actuellement disponibles pour l'évaluation du danger toxique, compatibles avec l'approche de l'ISO TC 92 SC 3, telle que définie dans l'ISO/TR 9122-6 [6]. Elle fournit également un guide pour l'utilisation de données de puissances toxiques dans l'évaluation du danger et sur des principes qui mettent l'accent sur l'utilisation d'informations sur la combustibilité et la toxicologie dans l'évaluation du danger.

La méthodologie détaillée décrite dans le présent rapport technique est directement applicable aux données fournies par les essais qui mesurent les *effets létaux* des effluents du feu. Les principes généraux, mais pas l'ensemble des détails, sont applicables lors de l'interprétation des données fournies par les essais qui mesurent les *effets d'incapacitation* des effluents du feu.

#### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60695-1-1:1995, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-1: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Guide général*

CEI 60695-4:1993, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu*  
Amendement 1 (1995)

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

CEI 60695-7-4:1995, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7-4: Guide sur la minimisation des risques toxiques dus à des feux impliquant des produits électrotechniques – Effets toxiques inhabituels dus à des feux*

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

## FIRE HAZARD TESTING –

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

#### 1 Scope

This technical report provides guidance on the use and interpretation of results obtained from laboratory tests. It discusses currently available approaches to toxic hazard assessment consistent with the approach of ISO TC 92 SC 3, as set out in ISO/TR 9122-6 [6]. It also provides guidance on the use of toxic potency data in hazard assessment and on principles which underlie the use of combustibility and toxicological information in hazard assessment.

The detailed methodology described in this technical report is directly applicable to data produced by tests measuring the *lethal effects* of fire effluents. The general principles, but not all of the details, are applicable when interpreting data produced by tests which measure the *incapacitating effects* of fire effluents.

#### 2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this technical report. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60695-1-1:1995, *Fire hazard testing – Part 1-1: Guidance assessing fire hazard of electrotechnical products – General guidance*

IEC 60695-4:1993, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests*  
Amendment (1995)

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

IEC 60695-7-4:1995, *Fire hazard testing – Part 7-4: Guidance on the minimization of toxic hazards due to fires involving electrotechnical products – Unusual toxic effects in fires*

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

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les termes et les définitions de la CEI 60695-4 s'appliquent ainsi que les suivantes:

#### 3.1

##### **concentration effective ( $EC_{50}$ )**

concentration d'un composant toxique, ou d'un mélange de composants toxiques, inhalée pendant une période de temps spécifique, qui cause un effet spécifique observé chez 50 % d'une population de la même espèce et exposée aux mêmes conditions expérimentales

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

#### 3.2

##### **dose effective ( $ECt_{50}$ )**

dose d'exposition (concentration multipliée par le temps,  $Ct$ ) d'un composant toxique qui, lorsqu'il est inhalé, cause un effet spécifique observé chez 50 % d'une population de la même espèce et exposée aux mêmes conditions expérimentales

NOTE – L'effet observé est typiquement soit une réponse comportementale indicative d'une incapacitation ou de la mort. L' $ECt_{50}$  pour une exposition létale est exprimée par « $LCt_{50}$ », la dose d'exposition létale.

#### 3.3

##### **dose d'exposition**

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

#### 3.4

##### **dose effective fractionnelle (DEF)**

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

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

#### 3.5

##### **incapacitation**

perte de moyen pour échapper à un feu

#### 3.6

##### **irritation (sensitive)**

action des composants toxiques sur les yeux et/ou le système respiratoire supérieur qui cause une sensation douloureuse. Elle peut être due à la stimulation directe de récepteurs spécifiques ou à un endommagement des tissus causé par les composants toxiques

#### 3.7

##### **concentration de perte de masse**

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

### 4 Principes d'évaluation du danger toxique

L'évaluation du danger toxique est la branche de l'évaluation du danger d'incendie qui considère la menace pour ceux qui sont exposés aux effluents aérosols d'un incendie. Les menaces peuvent être la mort elle-même, résultat de l'inhalation d'une quantité létale de matériau toxique, et l'incapacitation, qui rend les victimes incapables d'échapper aux effets du feu. Les effets potentiellement létaux de l'effluent du feu dépendent de la quantité de matériau

### 3 Terms and definitions

For the purpose of this technical report, the terms and definitions of IEC 60695-4 and the following apply:

#### 3.1

##### **effective concentration ( $EC_{50}$ )**

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

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

#### 3.2

##### **effective dose ( $ECt_{50}$ )**

exposure dose (concentration multiplied by time,  $Ct$ ) of a toxicant that, when inhaled, cause a specific observed effect in 50 % of a population all of which are the same species and all exposed under the same experimental conditions

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

#### 3.3

##### **exposure dose**

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

#### 3.4

##### **fractional effective dose ( $FED$ )**

ratio of the exposure dose ( $Ct$ ) to the effective dose ( $ECt_{50}$ ) for the same fire effluent

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

#### 3.5

##### **incapacitation**

loss of the ability to escape from a fire

#### 3.6

##### **irritancy (Sensory)**

action of toxicants on the eyes and/or upper respiratory tract causing a painful sensation. This may be a direct stimulus of specialized receptors or as a result of tissue damage caused by the toxicants

#### 3.7

##### **mass loss concentration**

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

### 4 Principles of toxic hazard assessment

Toxic hazard assessment is that branch of fire hazard assessment which addresses the threat to those exposed to the airborne effluent from a fire. The threat can be death itself, the result of inhaling a lethal amount of toxic material, and incapacitation, which renders the victims unable to escape from the effects of a fire. The potentially lethal effects of fire effluent depend



toxique inhalée - la dose d'exposition. Certains effets incapacitant de l'effluent du feu peuvent également dépendre de la dose d'exposition, mais d'autres peuvent dépendre seulement de la concentration de l'effluent du feu. C'est pourquoi la méthode d'analyse suivante – basée sur la dose d'exposition et non sur la concentration – est largement considérée comme valide pour l'évaluation de la létalité, mais peut ne pas être strictement applicable à tous les dangers toxiques associés à l'incapacitation.

L'approche adoptée est celle présentée dans l'ISO/TR 9122-5 [5], où la menace toxique est caractérisée par la dose effective fractionnelle, *DEF*. En général, la *DEF* est le rapport entre la quantité d'effluent du feu inhalée (la dose d'exposition) et la quantité de matériau toxique nécessaire à la production d'un effet toxique spécifique (la dose effective, *EC<sub>t50</sub>*).

$$DEF = \frac{\text{dose d'exposition}}{\text{dose effective}}$$

La *DEF* calculée est une mesure du danger toxique relatif à l'effet qui était recherché dans l'essai: incapacitation ou létalité (si l'effet étudié est la mort, l'*EC<sub>t50</sub>* se réfère à la dose létale, qui s'exprime par *LC<sub>t50</sub>*). La dose d'exposition étant une quantité dépendante du temps, la *DEF* est également dépendante du temps et fonction des caractéristiques de combustion de l'incendie, de la dimension du compartiment et de l'emplacement des victimes. Plus la valeur de *DEF* est élevée, plus la menace est importante. Lorsque la *DEF* est égale ou supérieure à l'unité, l'effet pour lequel elle est calculée, incapacitation ou mort, est supposé intervenir. Les différents éléments qui interviennent dans le calcul de la *DEF*, et ses utilisations, sont présentés à l'article 5.

## 5 Méthodes d'évaluation du danger toxique

### 5.1 Base de l'évaluation des dangers de l'incendie

L'évaluation du danger d'incendie est la discipline consistant à prédire le degré attendu du préjudice corporel ou de la perte de biens résultant de l'action d'un incendie. L'évaluation du danger toxique est la branche de l'évaluation du danger d'incendie qui considère l'effet de l'inhalation de l'effluent du feu sur les personnes exposées. Une présentation initiale de l'évaluation du danger et un cadre de mise en pratique ont été présentés par Fowell [7]. Une description détaillée des connaissances techniques de base pour l'évaluation du danger est présentée dans la CEI 60695-1-1. Un compte rendu du travail actuel se trouve dans ISO/TR 9122-5 [5].

### 5.2 Evaluation du danger toxique

#### 5.2.1 Approche globale

L'objectif de l'évaluation du danger toxique est de calculer la *DEF* associée à un incendie impliquant des produits électrotechniques. La première étape est de sélectionner le produit concerné et d'identifier son utilisation. Les circonstances détaillées dans lesquelles l'incendie considéré a lieu sont ensuite décrites. Cela constitue un «scénario de feu». La spécification du scénario inclut l'identification de la structure environnante, comment le feu démarre et comment il implique le produit, l'emplacement des personnes exposées et comment elles sont censées s'échapper. Souvent, plus d'un scénario peut être envisagé pour un produit électrotechnique donné, et un danger toxique distinct est associé à chaque scénario. Les résultats combinés de plusieurs scénarios incluant leur probabilité d'occurrence relève de l'évaluation du risque, pour laquelle un guide CEI ou ISO n'est pas encore disponible.

Pour chaque scénario identifié, l'effort d'évaluation du danger toxique porte sur le calcul de la dose effective fractionnelle, *DEF*, décrit ci-dessous.



upon the amount of toxic material inhaled – the exposure dose. Some potentially incapacitating effects of fire effluent may also depend upon the exposure dose, but others may depend only upon the fire effluent concentration. Therefore, the following method of analysis – which is based on exposure dose and not concentration – is widely accepted as valid for assessing lethality but may not be strictly applicable to all toxic hazards associated with incapacitation.

The approach taken is that of ISO/TR9122-5 [5], in which the toxic threat is characterized by the fractional effective dose, *FED*. In general, *FED* is the ratio of the amount of toxic material inhaled (the exposure dose) to the amount of toxic material needed to produce a specific toxic effect (the effective dose, *EC*<sub>50</sub>).

$$FED = \frac{\text{exposure dose}}{\text{effective dose}}$$

The calculated *FED* is a measure of the toxic hazard with respect to whatever effect was looked for in the toxicity test: incapacitation or lethality. (When the effect under study is death, the *EC*<sub>50</sub> refers to the lethal dose, which has the special designation *LC*<sub>50</sub>). The exposure dose being a time-dependent quantity, *FED* is time-dependent as well and is a function of the fire's burning characteristics, the building layout and the location of the victims. The higher the value of *FED*, the more severe the threat. When *FED* is equal to or exceeds unity, the effect for which it is calculated, incapacitation or death, is presumed to occur. The various elements which go into the calculation of *FED*, and the uses to which it is put, are discussed in clause 5.

## 5 Methods of toxic hazard assessment

### 5.1 Background on fire hazard assessment

Fire hazard assessment is the discipline of predicting the expected degree of human harm or property loss resulting from the action of a fire. Toxic hazard assessment is the branch of fire hazard assessment which addresses the effect of inhaled fire effluent on those exposed. An initial view of hazard assessment and a framework for implementation has been presented by Fowell [7]. A comprehensive description of the technical background for hazard assessment is presented in IEC 60695-1-1. A review of current work is to be found in ISO/TR9122-5 [5].

### 5.2 Toxic hazard assessment

#### 5.2.1 General approach

The objective of toxic hazard assessment is to calculate the *FED* associated with a fire involving the electrotechnical product. The first step is to describe the electrotechnical product and how it is used. The detailed circumstances under which the fire occurs is then described. This constitutes a "fire scenario". Specifying the scenario includes identifying the enclosing structure, how the fire starts and how the product becomes involved in the fire, the location of those persons exposed and how they will escape. There is often more than one possible scenario for a given electrotechnical product, and a distinct toxic hazard is associated with each one. The combining of results from multiple scenarios involving their probability of occurrence is the province of risk assessment, for which IEC or ISO guidance is not yet available.

For each scenario identified, the effort of toxic hazard assessment is the calculation of the fractional effective dose, *FED*, described below.

## 5.2.2 Dose effective fractionnelle (DEF)

Pour la plupart des composants de l'effluent, la sévérité d'un effet toxique est approximativement proportionnelle à la dose d'exposition reçue. La dose d'exposition est le produit de la concentration du composant et du temps d'exposition. Ainsi, si la concentration du gaz toxique 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 [8]. (Pour certains composants de l'effluent, la réponse toxique peut être décrite avec plus de précision par l'inclusion de termes d'ordre supérieur, tel que  $Ct^2$ . Pour plus d'information, l'utilisateur est renvoyé à ISO/TR9122-5 [5].) Les unités de dose d'exposition,  $Ct$ , sont égales à la concentration multipliée par le temps, et généralement exprimées en grammes par mètres cube minute ( $g/m^3 \cdot min$ ) ou  $10^{-6}$  par min ( $10^{-6} \cdot min$ ).

La puissance toxique d'un composant toxique est caractérisée par la valeur de la dose d'exposition nécessaire pour produire un effet toxique observé. La dose du gaz toxique nécessaire pour produire un effet défini est appelée la «dose effective»,  $EC_{t50}$ . Plus la dose effective nécessaire est faible, plus la puissance toxique est importante. 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 calcule la dose d'exposition, généralement en fonction du temps, et la compare à la dose effective. Ce rapport est la dose effective fractionnelle, ou  $DEF$  [9].

$$DEF = \frac{\text{dose d'exposition } (Ct)}{\text{dose effective } (EC_{t50})}$$

Le numérateur, la dose d'exposition  $Ct$ , est déterminé par le comportement au feu du produit et le scénario de feu. Le dénominateur, la dose effective,  $EC_{t50}$ , est le seul endroit dans l'expression où apparaît la puissance toxique. Les données de la puissance toxique sont discutées plus en détail en 5.2.4. Lorsque la dose d'exposition réelle à l'emplacement de la victime est égale à la dose effective (c'est à dire, lorsque  $DEF = 1$ ), l'effet défini, tel que l'incapacité ou la mort, aura lieu.

Il y a deux approches distinctes, mais étroitement liées, pour estimer la dose d'exposition et la  $DEF$  dans des situations d'incendie. La première consiste à assimiler l'effluent du feu à un mélange de composants toxiques; elle est appelée le modèle de composant effluent. La seconde consiste à assimiler l'effluent comme étant composé de contributions provenant de la combustion des divers matériaux et produits; cette approche est le modèle de perte de masse.

### 5.2.2.1 Modèle de composant d'effluent

Dans le modèle de composant d'effluent, on mesure ou calcule la concentration de l'agrégation des composants toxiques dans l'effluent du feu puis on calcule la  $DEF$  totale à partir de la relation:

$$DEF_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n \frac{(Ct)_i}{(EC_{t50})_i}$$

$(Ct)_i$  est la dose d'exposition du composant d'effluent  $i$

$(EC_{t50})_i$  la dose effective de ce composant d'effluent.

Les effets toxiques des composants d'effluent pris séparément sont généralement additifs, si bien que la  $DEF$  totale est la somme des contributions de tous les composants  $n$ . De la même manière que pour un seul gaz toxique, lorsque la  $DEF$  totale atteint l'unité, il est prévisible que l'effet se produise.

### 5.2.2 Fractional effective dose (*FED*)

For most components of the effluent, the severity of a toxic effect is roughly proportional to the exposure dose received. The exposure dose is the product of concentration of the component and the exposure time. Thus, if the concentration of toxicant is doubled and the exposure time is halved, the toxic effect on an exposed organism is usually about the same [8]. (For some effluent components, toxic response may be more accurately described by the inclusion of higher order terms, such as  $Ct^2$ . For more information, the user is referred to ISO/TR9122-5 [5].) The units of exposure dose,  $Ct$ , are concentration multiplied by time, usually expressed as grams per cubic metre times minutes ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{min}$ ) or parts per million times minutes ( $10^{-6}\cdot\text{min}$ ).

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

Hazard assessment computes the exposure dose, usually as a function of time, and compares it to the effective dose. This ratio is the fractional effective dose, or *FED* [9].

$$FED = \frac{\text{exposure dose } (Ct)}{\text{effective dose } (ECt_{50})}$$

The numerator, the exposure dose  $Ct$ , is determined by the burning behaviour of the product and the fire scenario. The denominator, the effective dose,  $ECt_{50}$ , is the only place in the expression where toxic potency appears. Toxic potency data are discussed further in 5.2.4. When the actual exposure dose at the victim's location equals the effective dose (i.e. when  $FED = 1$ ) the defined effect, such as incapacity or death, is deemed to occur.

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 effluent component model. The second is to view the effluent as composed of contributions from the various burning products and materials; this approach is the mass loss model.

#### 5.2.2.1 Effluent component model

In the effluent component model, one measures or calculates the concentration of the toxic components in the fire effluent and then computes the total *FED* from the relationship:

$$FED_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n \frac{(Ct)_i}{(ECt_{50})_i}$$

where  $(Ct)_i$  is the exposure dose of effluent component  $i$ ,  
and  $(ECt_{50})_i$  the effective dose of that effluent component.

The toxic effects of the separate effluent components are generally additive, so the total *FED* is the sum of the contributions of all  $n$  components. As with a single toxicant, when the total *FED* reaches unity, the effect is predicted to occur.

L'effluent du feu contient presque toujours du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone. La présence d'autres composants d'effluent est dictée par la composition spécifique des matériaux et des produits en combustion.

La présence de quantités substantielles de dioxyde de carbone augmente la sensibilité au monoxyde de carbone et peut-être aussi à d'autres composants toxiques. Par conséquent, les doses effectives de telles substances dans des incendies ne sont pas nécessairement celles déterminées par l'exposition au seul gaz pur. Plus d'informations sur cette approche, aussi appelée le «modèle de gaz toxique», peuvent être obtenues dans la référence [5].

### 5.2.2.2 Modèle de perte de masse

Dans la seconde approche, des évaluations de danger d'incendie peuvent être faites sur la base de la contribution massique des produits et matériaux individuels en combustion. Le terme de concentration de l'effluent dans la dose d'exposition est remplacé par la concentration de la masse d'un produit (masse perdue par le produit en combustion divisé par le volume total de l'effluent du feu auquel le produit en combustion contribue).

$$DEF = \sum_{j=1}^k \frac{(Ct)_j}{(ECt_{50})_j}$$

La somme est appliquée à chacun des produits en combustion  $k$  dont les effluents de combustion sont contenus dans l'effluent total du feu.  $(ECt_{50})_j$  est la puissance toxique de l'effluent du  $j^e$  produit, mesurée par un essai de laboratoire sur la toxicité de la combustion d'un effluent. La puissance toxique est exprimée en termes de concentration effective de temps-masse du produit dans l'effluent, nécessaire pour produire l'effet observé.

Le modèle de perte de masse est généralement utilisé lorsque le but de l'évaluation du danger d'incendie est de comparer un produit électrotechnique à un autre, ou lorsque le produit électrotechnique contribue pour une relativement petite partie du danger total.

Les divers termes de cette expression, comment les calculer et leur signification, sont traités en 5.2.3 et 5.2.4.

### 5.2.2.3 Propriétés de la DEF

La DEF est une quantité dépendante du temps. Ses composantes principales sont:

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

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

$$f_i = \frac{[Ct]_i}{[ECt_{50}]_i} = \frac{\text{dose d'exposition du composant d'effluent } i}{\text{dose effective du composant d'effluent } i}$$

et DEF totale =  $f_1 + f_2 + f_3 + \dots$  (voir figure 1)

The fire effluent almost always contains carbon monoxide and carbon dioxide. The presence of other effluent components is dictated by the specific composition of the materials and products burning.

The presence of substantial amounts of carbon dioxide enhances susceptibility to carbon monoxide and perhaps other toxic components as well. Thus, the effective doses of such substances in fires are not necessarily those determined by exposure to the pure gas alone. More information on this approach, also termed the "toxic gas model", can be obtained from [5].

### 5.2.2.2 Mass loss model

In the second approach, 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 product's mass concentration (mass lost by product on burning divided by the total volume of fire effluent to which the burning product contributes).

$$FED = \sum_{j=1}^k \frac{(Ct)_j}{(ECt_{50})_j}$$

The sum is taken over each of the  $k$  burning products whose combustion effluents are contained in the total fire effluent.  $(ECt_{50})_j$  is the toxic potency of effluent from the  $j^{\text{th}}$  product, measured in a laboratory combustion effluent toxicity test. Toxic potency is expressed in terms of the effective mass-time concentration of product in the effluent necessary to produce the observed effect.

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

The various components of this expression, how to calculate them and their significance, are discussed in 5.2.3 and 5.2.4.

### 5.2.2.3 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.

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:

$$f_i = \frac{[Ct]_i}{[ECt_{50}]_i} = \frac{\text{exposure dose of effluent component } i}{\text{effective dose of effluent component } i}$$

and total  $FED = f_1 + f_2 + f_3 + \dots$  (see figure 1)

Cela est vrai aussi bien pour des gaz individuels, comme dans le modèle de l'effluent, que pour différents objets en combustion, comme dans le modèle de perte de masse.

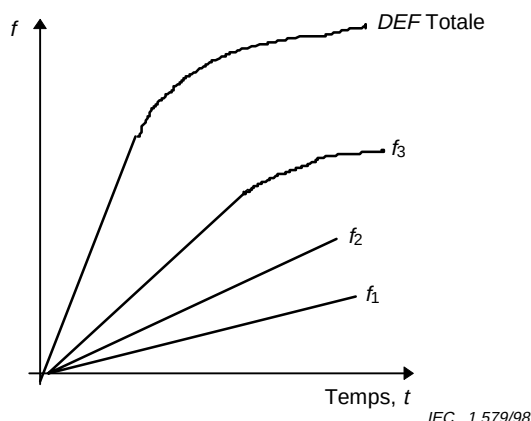


Figure 1 – La DEF totale et les contributions individuelles sont dépendantes du temps

#### 5.2.2.4 Utilisations de la DEF

L'utilisation de la DEF inclut les exigences suivantes:

- pour maintenir une atmosphère tenable  
Exigence d'une DEF inférieure à une valeur prédéterminée, choisie pour assurer le maintien de la continuité de l'opération, d'évacuation ou de secours.
- comme base de comparaison entre matériaux ou produits  
Exigence de  $f_1 < f_s$ , où  $f_s$  se réfère à un matériau ou produit de référence.
- comme base de comparaison avec une référence normalisée  
Exigence de  $f_i \leq f_o$ , où  $f_o$  est la valeur de  $f$  pour une référence normalisée ou un feu spécifique.

#### 5.2.3 Approches pour estimer une dose d'exposition, Ct

La dose d'exposition est la quantité d'un composant toxique ou la quantité inhalée de la masse du produit provenant de l'effluent du feu (voir figure 2). C'est, strictement parlant, une quantité intégrée, puisque la concentration de l'effluent ou la concentration de perte de masse, est généralement dépendante du temps d'exposition,  $t$ .

This is true regardless of whether the contributors are individual gases, as in the effluent component model, of different burning items, as in the mass loss model.

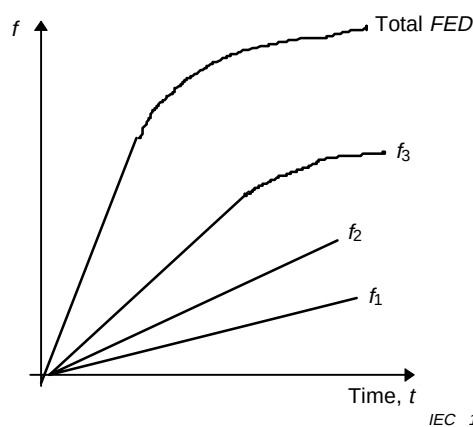


Figure 1 – Total *FED* and each contributor, both are time-dependent

#### 5.2.2.4 Uses of *FED*

The uses of *FED* include the following:

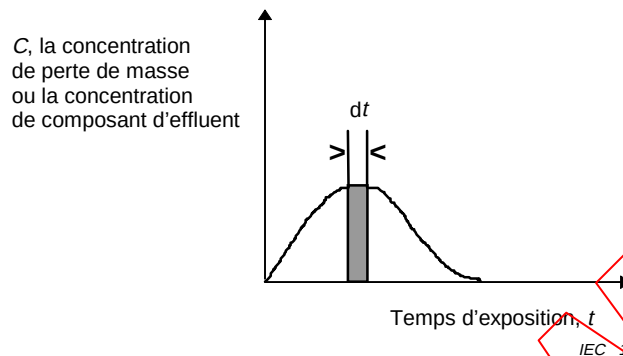
- maintaining a tenable atmosphere  
This requires that the *FED* does not exceed a predetermined value chosen to provide tenability for continuity of operation, escape or rescue.
- as a basis for comparing materials or products  
This requires  $f_1 < f_s$ , where  $f_s$  relates to a reference material or product.
- as a basis for comparison to a standard  
This requires  $f_i \leq f_0$ , where  $f_0$  is the value of  $f$  for a reference standard or a specific design fire.

#### 5.2.3 Approaches to estimating exposure dose, ( $Ct$ )

The exposure dose is the amount of toxicant inhaled from the fire effluent (see figure 2). It is, strictly speaking, an integrated quantity, since the effluent concentration itself is generally dependent on the exposure time,  $t$ .



Dose d'exposition,  $Ct$  = dose d'exposition =  $\int_{\text{temps d'exposition}} C dt$



**Figure 2 – Dépendance temporelle typique de la concentration des fumées.**

NOTE – La surface sous la courbe est la dose d'exposition.

Chaque contribution à l'effluent du feu a sa propre concentration  $C$ , dépendante du temps.

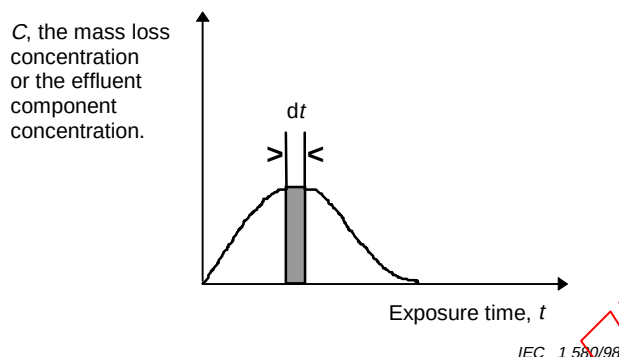
Il y a deux façons de déterminer les différentes valeurs de  $C$ :

- par une mesure directe dans une simulation à grande échelle du scénario de feu;
- par le calcul de la vitesse de perte de masse des combustibles et par la connaissance soit du volume dans lequel l'effluent se disperse, soit de la vitesse de production de l'effluent du feu.

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

La perte de masse effective pour un produit donné commence lorsque ses conditions d'inflammation précédemment déterminées (flux radiant ou température) sont atteintes. La vitesse de perte de masse est proportionnelle à la surface exposée et à la quantité de chaleur en provenance du feu qui atteint la surface. La constante de proportionnalité est déterminée pour chaque produit par des mesures en laboratoire de la vitesse de perte de masse par unité de surface exposée à une série de flux radiants connus. La perte de masse cesse lorsque le produit a été consommé (temps de consommation = masse du produit/vitesse de perte de masse).

Exposure dose,  $Ct$  = exposure dose =  $\int_{\text{exposure time}} C dt$



**Figure 2 – Typical time dependence of smoke concentration**

NOTE – The area under the curve is the exposure dose.

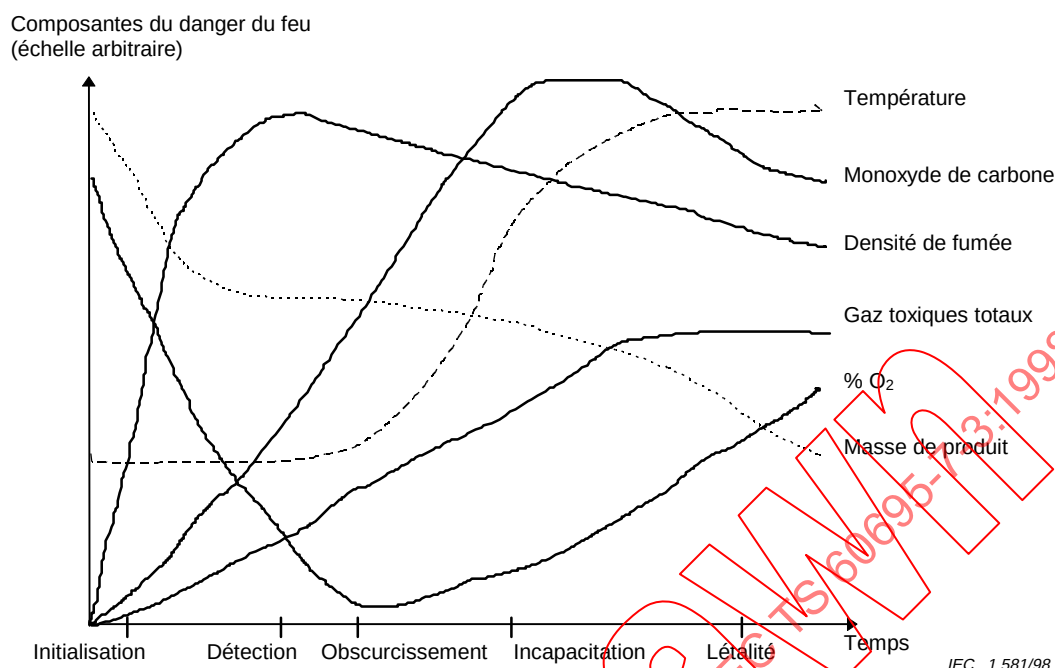
Each contributor to the fire effluent has its own time-based concentration,  $C$ .

There are two ways to determine the various  $C$ s:

- by direct measurement of  $C$  in a full-scale simulation of the fire scenario;
- by computing the mass loss rate of the fuels and knowing either the volume into which the effluent is discharged or the production rate of the fire effluent.

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 C. In other cases, the approach is often to make use of computer-based mathematical models. These models have so far been developed for simple environments and usually require as input not only the characteristics of the fire scenario, but also the time-based mass loss rate of all combustible products exposed to the fire, including electrotechnical products.

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



**Figure 3 – Dépendance temporelle des composantes du danger du feu**

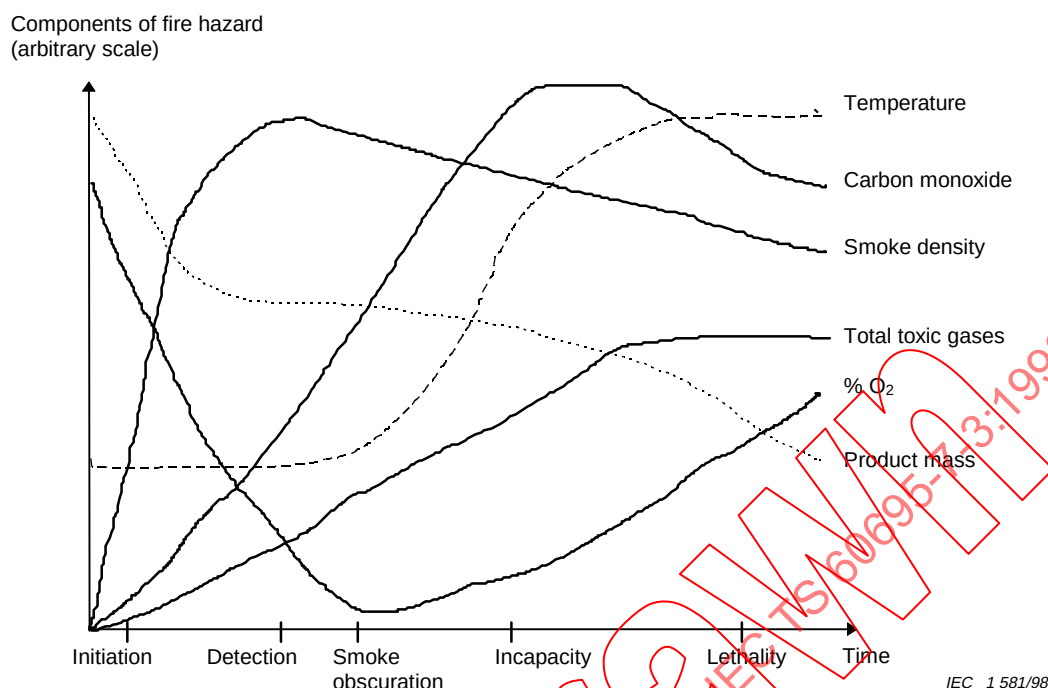
En utilisant les vitesses de perte de masse et les informations spécifiques d'un scénario comme données d'entrée, le code informatique prend en compte les effets de la structure, de la ventilation et de l'emplacement de la victime et calcule la température et les concentrations des effluents à différents temps, à l'emplacement de la victime.

#### **5.2.4 Approches pour exprimer la puissance toxique**

Les différences entre les puissances toxiques de l'effluent provenant de matériaux et de produits communs ont généralement été trouvées insignifiantes, dans des limites relativement larges. Par conséquent, si l'on accepte de tolérer une incertitude significative dans le résultat, il est possible d'utiliser des valeurs génériques pour la puissance toxique des effluents du feu. Des valeurs de puissance toxique mesurées en laboratoire, basées soit sur des analyses chimiques soit sur l'exposition d'animaux, sont capables de donner des résultats plus précis, mais seulement si le modèle de feu utilisé pour produire les effluents du feu est approprié au type d'étape du feu dans le scénario de feu réel considéré. Il convient de consulter l'ISO/TR9122-4 [4], pour déterminer des modèles de feu acceptables pour le ou les scénarios considérés.

##### **5.2.4.1 Valeurs génériques de puissance toxique**

Il est souvent possible d'établir des premières approximations pour l'évaluation du danger en utilisant des valeurs moyennes ou génériques de puissance toxique, car les effluents du feu provenant de la plupart des matériaux sont les mêmes, à un ordre de grandeur près. Il a été suggéré en Grande Bretagne que 200 g·min/m<sup>3</sup> soit utilisé comme référence pour prédire l'incapacitation et 500 g·min/m<sup>3</sup> pour prédire la létalité [10]. La validité de cette convention peut être vérifiée en recalculant le résultat d'une évaluation du danger toxique là où les valeurs de puissance toxique utilisées diffèrent de la valeur générale d'un facteur 2 ou 3. Si des différences significatives du temps potentiel d'évacuation en résultent, il peut être avantageux de chercher des données spécifiques de puissance toxique pour les matériaux et les produits électrotechniques en question.



**Figure 3 – Time dependent behaviour of the components of fire hazard**

Using mass loss rates and scenario specific information as input, the computer code takes into account the effects of the structure, ventilation and victim location, and calculates effluent temperature and concentrations at successive times at the selected location.

#### **5.2.4 Approaches to expressing toxic potency**

Differences among toxic potencies of effluent from common materials and products has generally been found to be, within fairly broad limits, insignificant. Therefore, if one is willing to tolerate a sizeable amount of uncertainty in the result it is possible to use generic values for the toxic potency of fire effluents. Measured laboratory values of toxic potency, whether based on chemical analysis or animal exposure, have the potential for producing results of greater reliability, but only if the fire model used to generate the fire effluents is relevant to the type of stage of fire in the real fire scenario of concern. ISO/TR9122-4 [4] should be consulted to determine acceptable fire models for the scenario or scenarios of concern.

##### **5.2.4.1 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 in the UK that 200 g·min/m<sup>3</sup> be used as reference for predicting incapacitation and 500 g·min/m<sup>3</sup> for predicting lethality [10]. 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 significant differences in potential escape time result, it may be advantageous to seek specific toxic potency data for electrotechnical materials and the products in question.

#### 5.2.4.2 Puissances toxiques tirées d'analyses chimiques

Les doses effectives létales des gaz d'incendie majeurs sont connues d'après des essais biologiques antérieurs dont les résultats sont publiés (voir article 6 et l'annexe de la référence [5]). Ces données permettent une évaluation du danger basée sur les analyses chimiques des effluents du feu. Cette approche est en train de devenir plus largement encouragée grâce au progrès concernant la connaissance des effets toxiques aussi bien de gaz individuels d'incendie que de certains effluents du feu à composants multiples. De plus, elle évite l'utilisation routinière d'animaux, en partant du principe que les puissances toxiques de tous les gaz individuels communs produits dans les incendies ont déjà été déterminées par l'exposition d'animaux. Avec des données analytiques suffisantes, cela permet à la puissance toxique d'être traitée comme valeur unique (correspondant à une étape de l'incendie) ou variable de façon réaliste au cours de l'incendie.

#### 5.2.4.3 Puissances toxiques spécifiques tirées d'essais sur animaux

Toutes les puissances toxiques sont en définitive basées sur l'exposition d'animaux (généralement des rats ou des souris) à une concentration de gaz de concentration en effluent du feu connue et la détermination de la valeur nécessaire pour provoquer l'incapacitation ou la mort. Un produit ou matériau réel typique, lorsqu'il brûle, produit un mélange de substances toxiques. Ces produits de combustion peuvent interagir chimiquement entre eux, et biologiquement une fois inhalés. Brûler le matériau et exposer l'animal à l'effluent englobent les effets de chacune de ces interactions, dont la plupart ne sont pas prévisibles d'après les analyses chimiques.

#### 5.2.4.4 Limitations sur l'interprétation de résultats d'essai de toxicité

Les seuls résultats d'essai de puissance toxiques constituent une base inadéquate pour la détermination du danger du feu et donc de la sûreté vis-à-vis du feu. Ils ne doivent pas être interprétés directement pour classer les matériaux ou les produits électrotechniques. Il convient de ne pas incorporer de limites de puissance toxiques dans les spécifications de matériaux ou de produits. Il convient de ne tirer aucune conclusion ni de prendre aucune décision de sûreté avant que des essais d'incendie et des données de scénario de feu pertinents n'aient été incorporés dans une structure appropriée d'évaluation quantitative du danger.

Dans le passé, il était habituel de promouvoir des essais de toxicité comme un moyen pour identifier des matériaux qui, soumis à une décomposition thermique, produisaient des effluents de combustion caractérisés par une haute puissance toxique «inhabituelle». De tels exemples semblent désormais très rares [4].

La présence ou l'absence d'éléments chimiques spécifiques tels que azote, halogène, ou phosphore dans le produit n'est pas un indicateur, par elle-même, du niveau du danger toxique. Il est maintenant reconnu que les environnements toxiques létaux sont presque toujours la conséquence de concentrations élevées des effluents du feu plutôt que de composés spécifiques de l'effluent ayant des puissances toxiques élevées ou extrêmes inhabituelles.

La conclusion est généralement la même, que les puissances toxiques de composés individuels se situent dans un domaine normal ou élevé. Par conséquent, aucune conclusion ne devrait être tirée 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 de 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 d'oxygène d'une façon quantitative et dépendante du temps.

#### 5.2.4.2 Toxic potencies from chemical analyses

The lethal effective doses of the major fire gases are known from previous biological tests and are available from published sources (see clause 6 and the appendix to reference [5]). 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 (as in one stage of fire) or realistically variable through the course of the fire.

#### 5.2.4.3 Specific toxic potencies from animal tests

All toxic potencies are ultimately based on exposure of animals (usually rats or mice) to a gas concentration of a known concentration of fire effluent and determining what concentration is required to bring on incapacitation or death. A typical real product or material, when burning, produces a mixture of toxic substances. These combustion products can interact chemically with one another, and biologically once inhaled. Burning the material and exposing the animal to the effluent captures the effects from any such interactions, most of which are not predictable from chemical analysis.

#### 5.2.4.4 Limitations on 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. Such instances now appear to be very rare [4].

The presence or absence of specific chemical elements such as nitrogen, halogen, or phosphorus in the product is no indicator, by itself, of the level of lethal toxic hazard. It is now recognized that lethally toxic environments are almost always caused by elevated concentrations of fire effluents rather than by specific components of the effluent with unusually high or extreme toxic potencies.

The conclusion is generally the same, whether the toxic potencies of individual components fall in a normal range or elevated range. 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 way.

## 6 Composants d'effluent à mesurer et valeurs de puissance toxique

### 6.1 Rapport minimal

#### 6.1.1 Composants gazeux d'effluent du feu

La combustion de matériaux organiques produit des oxydes de carbone qui sont toujours des composants toxicologiques importants des effluents du feu. La présence connue ou suspectée d'autres éléments dans le combustible dicte quelles sont les analyses additionnelles qui ont besoin être réalisées.

| La composition du combustible inclut | Composant principal de l'effluent                                                              |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C, H, O seulement                    | Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )<br>Monoxyde de carbone (CO)<br>Acroléine<br>Formaldéhyde |
| Azote                                | Cyanure d'hydrogène (HCN)<br>Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )                                 |
| Chlore                               | Chlorure d'hydrogène (HCl)                                                                     |
| Fluor                                | Fluorure d'hydrogène (HF)                                                                      |
| Brome                                | Bromure d'hydrogène (HBr)                                                                      |
| Soufre                               | Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )                                                           |

#### 6.1.2 Autres composants

A moins que le combustible ne soit complètement oxydé, la fraction organique et les particules en suspension dans l'air peuvent contenir des espèces toxiques additionnelles, plus particulièrement des irritants pulmonaires, et il peut être important d'obtenir des indications sur ces paramètres. Par conséquent, il convient de déterminer la matière particulier totale (milligrammes par litre (mg/l) d'effluent) et la fraction organique totale. Si la composition du combustible est connue, la fraction organique peut être estimée d'après la proportion de carbone des produits. Sinon, un analyseur d'hydrocarbures totaux peut être utilisé, aussi bien que la comparaison des niveaux des composants à base de carbone analysés avec ceux produits lorsqu'un échantillon est complètement oxydé en CO<sub>2</sub>.

### 6.2 Rapport additionnel

Il convient de mesurer d'autres composants d'effluent, si leur présence est connue ou suspectée, d'après le résultat de la mesure des particules totales ou de la fraction organique. Parmi les plus connus on trouve: l'acroléine et le formaldéhyde.



## 6 Effluent components to be measured and toxic potency values

### 6.1 Minimum reporting

#### 6.1.1 Gaseous fire effluent components

Burning organic materials produce carbon oxides which are always important toxicological components of fire effluents. The known or suspected presence of other elements in the fuel dictates which additional analyses need to be performed.

| Fuel composition includes | Principal effluent component       |
|---------------------------|------------------------------------|
| C, H, O only              | Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )  |
|                           | Carbon monoxide (CO)               |
|                           | Acrolein                           |
|                           | Formaldehyde                       |
| Nitrogen                  | Hydrogen cyanide (HCN)             |
|                           | Nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> ) |
| Chlorine                  | Hydrogen chloride (HCl)            |
| Fluorine                  | Hydrogen fluoride (HF)             |
| Bromine                   | Hydrogen bromide (HBr)             |
| Sulphur                   | Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> ) |

#### 6.1.2 Other components

Unless the fuel is completely oxidized, the organic fraction and airborne particulates may contain additional toxic species, especially pulmonary irritants, and it may be important to obtain some indication of these parameters. Hence, total particulate matter (milligrams per litre (mg/l)) of effluent and total organic fraction should also be determined. If the composition of the fuel is known, the organic fraction can be estimated from the carbon balance of the products. Alternatively, a total hydrocarbon analyzer can be used, as well as comparison of the levels of carbon containing components analyzed with those produced when a sample is oxidized completely to CO<sub>2</sub>.

### 6.2 Additional reporting

Other effluent components should be measured if their presence is known, or is suspected as a result of measurement of the total particulates or organic fraction. Among the most common are: acrolein and formaldehyde.

## **Annexe A** **(informative)**

### **Effets secondaires des conditions d'incendie sur les dangers toxiques**

#### **A.1 Généralités**

Des approches de base sur l'évaluation du danger sont discutées ci-dessus. Un certain nombre d'améliorations sont en cours de développement en fonction de l'expérience acquise.

#### **A.2 Effets des irritants**

Des approches initiales sur l'estimation du danger mettent l'accent sur les effets de gaz narcotiques tels que CO et CN car ils sont plus aisément quantifiables. Un travail supplémentaire sur les effets irritants est en cours [11].

#### **A.3 Interaction du dioxyde de carbone avec le monoxyde de carbone**

Le dioxyde de carbone a par lui-même une faible puissance toxique. Cependant des concentrations élevées de CO<sub>2</sub> augmentent la vitesse respiratoire et l'acidité du sang. Ces effets augmentent à leur tour la vitesse d'ingestion des effluents du feu [5].

#### **A.4 Effets de l'appauvrissement en oxygène**

Des données sont maintenant disponibles qui permettent à l'appauvrissement en oxygène d'être assimilé à un «gaz toxique» dans l'équation de la DEF, comme illustré dans le modèle NIST N-gas [12].

#### **A.5 Effets de températures élevées (contrainte thermique)**

Divers degrés d'élévation de la température sont présents dans la plupart des situations d'incendie, et une simple contrainte thermique peut causer à la fois l'incapacitation et la mort. La contrainte thermique semble avoir pour rôle d'agir comme un gaz toxique additionnel [13], et il y a des raisons de croire qu'un terme de contrainte thermique peut être ajouté avec succès au calcul de la DEF.

#### **A.6 Effets de stratification et de transport des atmosphères de feu**

La concentration des effluents du feu est souvent calculée directement d'après la masse de combustible brûlée par rapport au volume dans lequel l'effluent est dispersé. Des modèles plus perfectionnés prendront en compte les effets de la stratification et du transport sur la concentration de l'effluent du feu dans des environnements physiques spécifiques [7].

## **Annex A** (informative)

### **Secondary effects of fire conditions on toxic hazards**

#### **A.1 General**

Basic approaches to hazard assessment are discussed above. A number of refinements are being developed as experience is gained.

#### **A.2 Effects of irritants**

Initial approaches to hazard assessment emphasize the effects of narcotic gases such as CO and CN because these are most readily quantified. Further work on irritant effects is in progress [11]

#### **A.3 Interaction of carbon dioxide and carbon monoxide**

Carbon dioxide has a low toxic potency by itself. High concentrations of CO<sub>2</sub>, however, increase respiratory rate and blood acidity. These effects in turn increase the rate of intake of fire gases [5].

#### **A.4 Effects of oxygen depletion**

Data are now available which permit oxygen depletion to be treated as a "toxicant" in the *FED* equation as illustrated by the NIST N-gas model [12].

#### **A.5 Effects of elevated temperatures (heat stress)**

Various degrees of temperature rise are present in most fire situations, and simple heat stress can cause both incapacitation and death. Heat stress appears to act like an added toxicant [13], and there is reason to believe that a heat stress term can be successfully added to the *FED* calculation.

#### **A.6 Effects of stratification and transport of fire atmospheres**

Concentration of fire effluents is often calculated directly from the mass of fuel burned relative to the volume into which the effluent is dispersed. More refined models will take into account the effects of stratification and transport on fire effluent concentration in specific physical environments [7].

## Annexe B (informative)

### Guide pour l'utilisation des valeurs $LC_{50}$

#### B.1 Généralités

La puissance toxique de la fumée provenant de la combustion ou de la pyrolyse d'un produit est le plus souvent caractérisée par la concentration de cette fumée 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 étant la mort. Des symptômes moindres, tels que la désorientation ou l'irritation des yeux, peuvent affecter la survie et peuvent avoir des effets durables ou pas.

La plupart des études sur le danger toxique des incendies se sont focalisées sur les effets menant directement à la létalité. La puissance toxique létale de la fumée d'incendie est caractérisée par la  $LC_{50}$ . C'est une concentration de fumée (ou d'un composant de fumée) menant à la mort de la moitié des sujets soumis à une exposition donnée – 30 min dans cet exposé. Dans des incendies réels, les personnes sont exposées à un niveau variable de fumée, et donc leur exposition résulte de l'intégration du profil de concentration de la fumée.

#### B.2 Danger limite

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

#### B.3 Utilisation des valeurs $LC_{50}$ dans des types spécifiques d'incendies

##### B.3.1 Feux couvants

Aucun des appareils actuels mesurant la puissance toxique de la fumée ne s'applique à la combustion auto-entretenu sans flamme. On peut présumer que ce mode est similaire à une pyrolyse thermique ou radiative, mais il n'a encore pas été établi si les produits de combustion ou les valeurs de LC sont les mêmes.

Ces incendies produisent peu de fumée ou de chaleur à cause de la lenteur de leur vitesse massique de combustion. Si cette fumée 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 sur la sécurité de vie serait faible. 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 la fumée est contenue dans un petit volume.

##### B.3.2 Feux de combustion vive, de préembrasement éclair

Les valeurs de  $LC_{50}$  sont mesurables pour des produits impliqués dans des petits feux. 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.

## **Annex B** (informative)

### **Guidance for the use of $LC_{50}$ values**

#### **B.1 General**

The toxic potency of smoke from a burning or pyrolyzing product is most often characterized by the concentration of that smoke likely to cause harm to people during a given exposure. There are 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 lethality. The lethal toxic potency of fire smoke is characterized by the  $LC_{50}$ . This is a concentration of smoke (or a smoke component) leading to the death of half the subjects in a given exposure item – 30 min in this discussion. In real fires, people are exposed to a changing smoke level, and so their exposure results from the integral of the smoke concentration profile.

#### **B.2 Limiting hazard**

There are several means by which one's life is threatened in a fire. These include the most common – smoke 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 smoke toxicity is the first step in toxic hazard analysis.

#### **B.3 Use of $LC_{50}$ values in specific types of fires**

##### **B.3.1 Smouldering fires**

None of the current apparatus for measuring smoke toxic potency do 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  $LC$  values are the same.

These fires generate little smoke or heat because of their slow mass burning rates. Were this smoke to mix throughout a room, the concentration would be very small 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 smoke is contained within a small volume is a person capable of receiving a harmful dose.

##### **B.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 toxic potency) or very low (high toxic potency) values. In both the measurement apparatus and the real fire, there is an ample supply of oxygen.

Lorsque l'approche *DEF* est utilisée, les composants d'effluent toxiques doivent être déterminés par des analyses chimiques.

| Composant principal de l'effluent | Puissance toxique létale ( $LC_{50}$ ), $10^{-6}$ ,<br>(exposition 30 min) [14] |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Dioxyde de carbone ( $CO_2$ )     | 100 000                                                                         |
| Monoxyde de carbone (CO)          | 5 700                                                                           |
| Acroléine                         | 150                                                                             |
| Formaldéhyde                      | 750                                                                             |
| Cyanure d'hydrogène (HCN)         | 165                                                                             |
| Oxydes d'azote ( $NO_x$ )         | 170                                                                             |
| Chlorure d'hydrogène (HCl)        | 3 800                                                                           |
| Fluorure d'hydrogène (HF)         | 2 900                                                                           |
| Bromure d'hydrogène (HBr)         | 3 800                                                                           |
| Dioxyde de soufre ( $SO_2$ )      | 400                                                                             |

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 la fumée chaude 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 à la sécurité de leur vie: une température élevée et une fumée toxique. Il est important de déterminer quel est le danger limite. Une analyse montre que dans beaucoup de situations, les brûlures et la chaleur deviennent menaçantes pour la vie bien avant la toxicité de la fumée, pour des valeurs normales de  $LC_{50}$ . [15]. Par conséquent, une mesure précise de la  $LC_{50}$  n'est pas importante pour une analyse du danger de ce type d'incendie. Il est plus important de savoir que la puissance toxique de la fumée n'est pas extrême. Dans d'autres situations d'exposition, la chaleur du feu est dissipée par le transfert de l'effluent du feu à travers le bâtiment avant d'atteindre les personnes. Dans de tels cas, la puissance toxique de la fumée sera le facteur menaçant pour la vie.

### B.3.3 Feux de combustion vive, de post-embraselement éclair

#### B.3.3.1 Généralités

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

#### B.3.3.2 Augmentation du monoxyde de carbone

Dans la pièce en feu, la température et le niveau de radiation thermique sont 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 la fumée toxique chaude quitte la pièce, elle est diluée 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 être aussi déterminées pour les produits impliqués dans de grands feux de combustion vive, et la plupart de ces valeurs tombent à nouveau dans une gamme étroite. Toutefois, 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

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

| Principal effluent component | Lethal toxic potency ( $LC_{50}$ ), $10^{-6}$ ,<br>(30 min exposure) [14] |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Carbon dioxide ( $CO_2$ )    | 100 000                                                                   |
| Carbon monoxide (CO)         | 5 700                                                                     |
| Acrolein                     | 150                                                                       |
| Formaldehyde                 | 750                                                                       |
| Hydrogen cyanide (HCN)       | 165                                                                       |
| Nitrogen oxides ( $NO_x$ )   | 170                                                                       |
| Hydrogen chloride (HCl)      | 3 800                                                                     |
| Hydrogen fluoride (HF)       | 2 900                                                                     |
| Hydrogen bromide (HBr)       | 3 800                                                                     |
| Sulphur dioxide ( $SO_2$ )   | 400                                                                       |

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 flames, the heat buoyantly propels the hot smoke 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 smoke. 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 smoke toxicity for normal values of the  $LC_{50}$  [15]. 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 smoke is not extreme. In other exposure situations, the heat of the fire is dissipated by travel of the fire effluent through the building before reaching the people. In such cases, the potency of the smoke will be the life-threatening factor.

### B.3.3 Flaming, post-flashover fires

#### B.3.3.1 General

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

#### B.3.3.2 Enhanced carbon monoxide

Within the room on fire, the temperature and thermal radiation level are too high for survival. The threat to be determined, then, is to people in contiguous compartments and remote locations. As the hot, toxic smoke 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 CO. Carbon monoxide is



l'augmentation de la formation de produits de combustion incomplète, notamment de CO. Le monoxyde de carbone est responsable d'au moins la moitié de la DEF dans presque tous les feux. Ainsi sa prise en compte précise dans une détermination de  $LC_{50}$  est importante. Des systèmes ouverts (écoulement continu) peuvent prédéterminer la production de CO par l'ajustement des conditions d'écoulement. Des systèmes fermés peuvent déterminer a posteriori la production de CO en se calant sur les résultats d'incendies à l'échelle réelle.

### B.3.3.3 Simplification des valeurs de $LC_{50}$

A cause de l'augmentation de production de CO dans des incendies de post-embrasement éclair, une simplification de la détermination de  $LC$  est possible. Des mesures de laboratoire ont montré que le  $CO_2$  augmente la toxicité du CO, et que la  $LC_{50}$  du CO affecté par le  $CO_2$  est environ  $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . L'analyse d'une gamme d'essais de pièce en feu de post-embrasement éclair montre que, bien qu'il y ait des variations, la production typique de CO 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 de post-embrasement éclair est estimée à environ  $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  [16]. Cela est basé uniquement sur les proportions attendues de CO et  $CO_2$ . Aucune valeur plus élevée n'est possible. La présence d'autres gaz toxiques ou même de productions plus fortes de CO ne ferait que diminuer la valeur.

Il est ensuite approprié de considérer la précision de la méthode de mesure du banc d'essai, c'est-à-dire le degré de représentativité de l'essai en laboratoire par rapport au phénomène à l'échelle réelle. Des études pilotes de validation d'un appareil radiant pour des mesures de  $LC_{50}$  ont montré que les résultats pouvaient être utilisés pour prédire la puissance toxique à échelle réelle à un facteur 3 près [17]. Par conséquent, les valeurs  $LC_{50}$  concernant la fumée de post-embrasement éclair entre  $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $25 \div 3$ ) et  $75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $25 \cdot 3$ ) sont indiscernables. Puisque tous les effluents de post-embrasement éclair ont des valeurs de  $LC_{50}$  inférieures ou égales à  $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , toutes les valeurs  $LC_{50}$  d'un effluent de post-embrasement éclair supérieures à  $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , déterminées en utilisant cette méthode, sont indiscernables les unes des autres. Ce type de calcul peut être appliqué à d'autres systèmes de banc d'essai une fois que leur précision a été déterminée.

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

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

- le bois et autres matières cellulosiques, puisque que toutes les espèces pourraient être censées avoir des valeurs de  $LC_{50}$  similaires à la valeur présente 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 (c'est-à-dire qu'ils ne produisent pas de gaz toxiques additionnels) et ont été reconnus comme ayant des valeurs de  $LC_{50}$  plus importantes que  $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ;
- des produits présents uniquement en petites quantités;
- des produits qui ne sont pas censés devenir du combustible pour un feu d'embrasement éclair, tels que les éléments installés uniquement derrière une barrière suffisamment protectrice.

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 CO yield by adjustment of the flow conditions. Closed systems can post-determine the CO yield by matching the results from real-scale fires.

### B.3.3.3 Simplification of $LC_{50}$ values

Some simplification of the  $LC$  determination is possible, because of the enhanced CO yields in post-flashover fires. Laboratory measurements have shown that  $CO_2$  enhances the toxicity of CO, and that the  $LC_{50}$  of  $CO_2$ -potentiated CO is about  $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Analysis of a range of post-flashover room fire tests shows that, although there is some variation, the typical yield of CO 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  $25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  [16]. This is based on the expected CO and  $CO_2$  content only. No higher values are possible. The presence of other toxicants or even more enhanced CO 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 [17]. Therefore,  $LC_{50}$  values for post-flashover smoke between  $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $25 \div 3$ ) and  $75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $25 \times 3$ ) are indistinguishable. Since all post-flashover fire effluent has an  $LC_{50}$  value no greater than  $25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , all  $LC_{50}$  values for post-flashover fire effluent greater than  $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  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  $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$  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  $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ". Some possible examples are:

- wood and other celluloses, 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 (i.e. they produce no additional toxicants) and have been shown to have  $LC_{50}$  values greater than  $8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- 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.

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60695-7-3:1998

Withdrawn

Based on an overview of reported toxic potency values, this process could result in an extremely small fraction of electrotechnical products needing 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 toxic potency is quite high. Note that this applies to post-flashover scenarios only.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60695-7-3:1998

Withdrawn

## Annexe C (informative)

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

#### C.1 Scénario du problème

Un changement du matériau de revêtement du sol est considéré. Il est admis que si le matériau est enflammé par une petite source d'inflammation, la vitesse de développement d'un danger toxique due au nouveau matériau (matériau B) ne peut être pire que celle de l'ancien matériau (matériau A). On considère que le scénario le plus probable implique un compartiment clos, dans lequel l'envahissement par la fumée est rapide et où l'effluent est mélangé de manière homogène dans tout le volume de la pièce (c'est-à-dire les effets de stratification peuvent être considérés très transitoire et peuvent être ignorés). Un problème est que la puissance toxique du matériau B est le double de celle du matériau A, bien qu'il brûle plus lentement une fois enflammé.

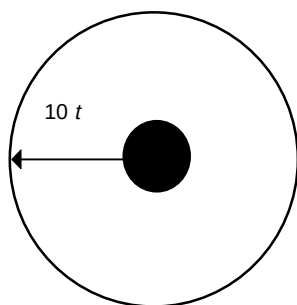
#### C.2 Information disponible

Le volume de la pièce est de  $40 \text{ m}^3$ . Les matériaux de revêtement du sol ont une épaisseur de 1 cm et une masse surfacique de  $1 \text{ kg/m}^2$ . Des essais de combustion horizontale ont montré que les deux matériaux brûlent rapidement avec un front de combustion complète qui part du point d'inflammation. Pour le matériau A, la vitesse de propagation de la flamme est de 10 cm/min alors que pour le matériau B, elle n'est que de 5 cm/min. Néanmoins, des essais de toxicité à petite échelle ont montré que, dans des conditions de combustion vive bien ventilée, la puissance toxique du matériau B ( $LC_{50} = 10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ; dose d'exposition létale =  $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{min}$ ) est deux fois celle du matériau A.

#### C.3 L'analyse du danger

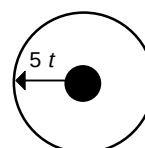
Si l'on considère une source d'inflammation ponctuelle, les deux matériaux vont brûler complètement et un cercle de surface brûlée va s'étendre à partir du point d'inflammation (voir figure C.1). Puisque le matériau A brûle deux fois plus vite que le matériau B, la surface de matériau A consumée sera quatre fois celle du matériau B à tout moment pendant les phases initiales du feu.

Matériau A  
Propagation de la flamme: 10 cm/min



Surface brûlée après un temps,  $t = \pi (10 t)^2$

Matériau B  
Propagation de la flamme: 5 cm/min



IEC 1582/98

Surface brûlée après un temps,  $t = \pi (5 t)^2$

Figure C.1 – Vitesse de propagation de la flamme pour les deux matériaux

## Annex C (informative)

### Simple worked example to illustrate the principles of a toxic hazard analysis

#### C.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 a 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, rapidly filled with smoke would occur and 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). A problem is that the toxic potency of material B is twice that of material A, although it burns more slowly once ignited.

#### C.2 Information available

The volume of the room is 40 m<sup>3</sup>. The floor covering material is 1 cm thick with an area density of 1 kg/m<sup>2</sup>. Horizontal burning tests have shown that both materials burn through rapidly so that a front of complete combustion spreads from the point of ignition. For material A, the rate of flame spread is 10 cm/min while for material B, the rate of flame spread is only 5 cm/min. However, small-scale toxicity tests have shown that, under well-ventilated flaming conditions, the toxic potency of material B ( $LC_{50} = 10 \text{ g m}^{-3}$ , lethal exposure dose = 300 g·m<sup>-3</sup>·min) is twice that of material A.

#### C.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 C.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.

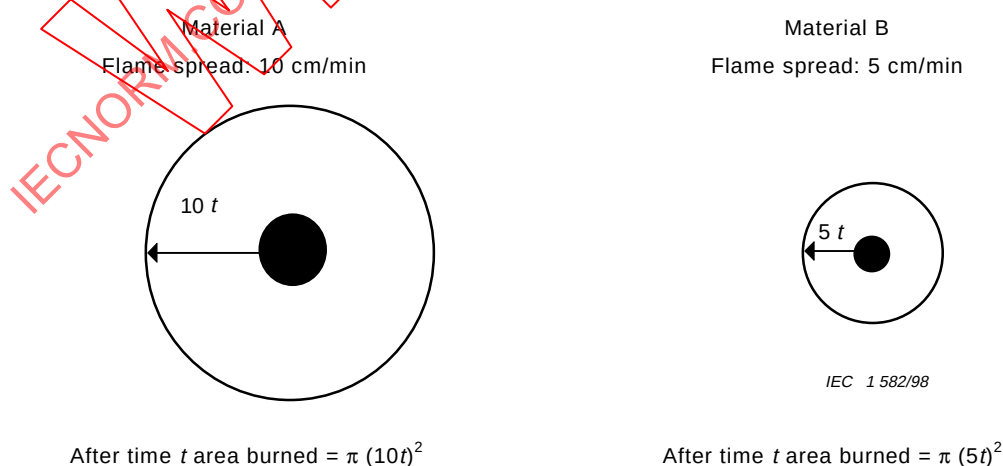


Figure C.1 – Flame spread rate for two materials