

RAPPORT TECHNIQUE

ISO TR 9122-1

Première édition
1989-09-15

Corrigée et réimprimée
1989-11-15

Essais de toxicité des effluents du feu — Partie 1 : Généralités

iTeh STANDARD PREVIEW
Toxicity testing of fire effluents —
Part 1: General
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 9122-1:1989](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/01fac94d-a790-4be3-897f-a6dc9506cb/iso-tr-9122-1-1989)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/01fac94d-a790-4be3-897f-a6dc9506cb/iso-tr-9122-1-1989>



Numéro de référence
ISO/TR 9122-1 : 1989 (F)

Sommaire	Page
Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Définitions et abréviations	1
3 Généralités	1
3.1 Historique	1
3.2 Rapports sur l'état de la technique de la toxicologie de combustion	2
3.3 Position actuelle	2
4 Menace du feu sur la vie des individus	2
4.1 Aspects généraux	2
4.2 Tendances des statistiques sur les incendies	3
4.3 Scénarios d'incendie et «incapacitation» des victimes	4
5 Nature chimique des effluents du feu	5
5.1 Mécanisme de formation des produits	5
5.2 Caractérisation des atmosphères d'incendie	5
5.3 Classification des incendies	6
6 Études expérimentales des incendies	7
6.1 Aspects généraux	7
6.2 Résultats des essais de simulation d'incendie	7

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.itteh.ai)

[ISO/TR 9122-1:1989](https://standards.itteh.ai/catalog/standards/sist/01-fac94d-2790-4be3-897f-a6dc9506cb/iso-tr-9122-1-1989)

<https://standards.itteh.ai/catalog/standards/sist/01-fac94d-2790-4be3-897f-a6dc9506cb/iso-tr-9122-1-1989>

© ISO 1989

Droits de reproduction réservés. 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.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

	Page
7 Essais de toxicité des effluents du feu	8
7.1 Introduction	8
7.2 Présentation de quelques méthodes types	8
7.3 Limitations des essais de toxicité des fumées en laboratoire	9
7.4 Méthodes analytiques en remplacement des essais sur les animaux	10
8 Analyse du danger et évaluation des risques	10
8.1 Aspects généraux	10
8.2 Approches pour l'évaluation des risques d'incendie	10
8.3 Danger de toxicité	11
8.4 Atténuation du danger	11
9 Remarques en conclusion	12
Annexes	
A Bibliographie	13
B Limites supportables	15

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/01fac94d-a790-4be3-897f-a6dcde9506cb/iso-tr-9122-1-1989>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est normalement confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux.

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

- type 1 : lorsqu'en dépit de maints efforts au sein d'un comité technique, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur la publication d'une Norme internationale;
- type 2 : lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique et requiert une plus grande démonstration;
- type 3 : lorsqu'un comité technique a réuni des données de natures différentes de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

La publication des rapports techniques dépend directement de l'acceptation du Conseil de l'ISO. Les Rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans 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 fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 9122 a été préparé par le comité technique ISO/TC 92, *Essais au feu sur les matériaux de construction, composants et structures*.

Les raisons justifiant la décision de publier le présent document sous forme de Rapport technique du type 3 sont exposées dans l'introduction.

L'ISO/TR 9122 comprendra les parties suivantes, sous le titre général *Essais de toxicité des effluents du feu* :

- *Partie 1: Généralités*
- *Partie 2: Guide des essais biologiques pour la détermination de la toxicité aiguë des effluents du feu: principes de base, critères et méthodologie*
- *Partie 3: Méthodes d'analyse des gaz et vapeurs*
- *Partie 4: Modèles d'incendie*

Les annexes A et B de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

Introduction

Le présent Rapport technique vise à servir d'information de base sur l'état actuel de la technique d'élaboration des essais permettant d'évaluer la toxicité des effluents du feu.

Il met en relief la tendance actuelle en matière d'élaboration des essais et indique comment on pourrait les utiliser à titre de contribution pour déterminer le danger global de toxicité, tout en attirant l'attention sur la nécessité absolue de tenir compte des informations provenant d'autres essais au feu pour déterminer le danger global des incendies.

Ce rapport est destiné à remplacer l'ISO/TR 6543 [1] préparé par un groupe de travail précédent (GT 12) directement lié à l'ISO/TC 92 et qui l'a publié en 1979. Le statut de rapport technique a été considéré comme étant approprié dans le cadre de l'ISO, étant donné que ce sujet est toujours en discussion et qu'il y a une possibilité d'accord pour la préparation ultérieure d'une norme internationale.

Le document décrit l'évolution des idées sur la question des dangers de toxicité depuis la publication de l'ISO/TR 6543 [1] et essaie d'identifier clairement les points sur lesquels on est arrivé à un accord général et les points où les divergences entre les opinions des experts persistent.

Au moment de la préparation du présent Rapport technique, l'ISO/TC 92/SC 3 progresse dans l'identification des critères et l'étude de méthodes appropriées de production d'atmosphères d'incendie (modèles feu), dans l'évaluation biologique de la toxicité (méthodes d'essais biologiques), dans les études bioanalytiques et dans les techniques analytiques d'évaluation des espèces toxiques connues dans les gaz d'incendie et les méthodes de laboratoire.

Les concepts exprimés au sein du GT 12 de l'ISO/TC 92 et plus récemment au sein du GT 4 de l'ISO/TC 92/SC 3 ont été particulièrement mis en lumière. Il a été noté que ces groupes de travail ont offert l'occasion de débats parmi les experts nommés par les organismes de normalisation dans le monde entier et de réputation mondiale. La connaissance des différents points de vue exprimés par ces experts est une base essentielle pour tous ceux qui s'occupent de quelque façon que ce soit des méthodes d'essai possibles pour évaluer la toxicité des effluents du feu.

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 9122-1:1989

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/01fac94d-a790-4be3-897f-a6dc9506cb/iso-tr-9122-1-1989>

Essais de toxicité des effluents du feu —

Partie 1: Généralités

1 Domaine d'application

L'objet de la présente partie de l'ISO/TR 9122 est de fournir une présentation actualisée des concepts prédominants sur l'élaboration des essais permettant d'évaluer les dangers de toxicité des incendies. Il présente l'état de la technique en 1987.

Le présent rapport vise à donner des informations essentielles à tous ceux qui sont chargés d'évaluer la toxicité des effluents volatils du feu non seulement dans l'élaboration de méthodes d'essais pertinentes mais également dans leur utilisation pour atténuer les dangers.

NOTE — C'est la définition donnée dans l'ASTM 1980. Aux États-Unis, ce terme est souvent utilisé pour faire référence aux conditions d'incendie sans flammes avec et sans oxydation, en présence d'une source de chaleur externe.

Les abréviations suivantes sont utilisées dans le texte :

Monoxyde de carbone	CO
Dioxyde de carbone	CO ₂
Oxygène	O ₂
Chlorure d'hydrogène	HCl
Eau	H ₂ O
Cyanure d'hydrogène	HCN

2 Définitions et abréviations

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

2.1 effluents du feu: Ensemble de produits gazeux, de particules ou d'aérosol de combustion ou de pyrolyse.

2.2 toxicité: Nature (effet) et étendue (puissance) des effets nocifs d'une substance sur un organisme vivant.

2.3 danger de toxicité: Danger que courent les individus dans les incendies de par la formation de produits toxiques selon leur nature, leur quantité, leur vitesse de production et leurs concentrations.

2.4 risque de toxicité: Probabilité de danger de toxicité.

2.5 toxicité spécifique: Effet nocif particulier causé par une substance toxique, par exemple narcose, irritation.

2.6 pouvoir toxique: Mesure de la quantité de substance toxique requise pour produire un effet toxique spécifique; la toxicité est plus élevée lorsque la quantité est plus petite.

2.7 modèle feu: Moyen de décomposer et/ou de soumettre à la combustion des éprouvettes d'essai dans des conditions définies permettant de représenter une ou plusieurs phases connues de l'incendie afin de générer des effluents du feu pour évaluer la toxicité. (Ce terme est également utilisé par les spécialistes d'essais au feu pour la simulation mathématique des caractéristiques d'un incendie.)

2.8 pyrolyse: Décomposition chimique irréversible due à la chaleur, habituellement sans oxydation.

3 Généralités

3.1 Historique

Les effets toxiques de l'exposition aux effluents du feu furent probablement observés par l'homme préhistorique lorsqu'il essaya pour la première fois d'amener le feu dans une grotte. La contribution du monoxyde de carbone à la toxicité des effluents du feu est reconnue depuis plus d'un siècle, mais ce n'est qu'en 1951 qu'une enquête médico-physiologique titrée «Toxicologie du Feu» a été effectuée par Zapp [2]. Des expériences effectuées sur des animaux ont contribué à distinguer quantitativement entre les effets d'exposition directe à la flamme (brûlures cutanées et respiratoires), la tension (stress) généralisée provoquée par la chaleur et les facteurs toxiques, y compris le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, l'appauvrissement en oxygène et autres substances toxiques. Tandis qu'on s'est aperçu que le monoxyde de carbone exerce l'effet physiologique prédominant dans toute une gamme de produits volatils du feu naturels et synthétisés, les expériences ont donné de fortes preuves d'interaction parmi tous les facteurs chimiques et thermiques de tension y compris les simples tensions provoquées par la chaleur.

L'expansion rapide de la recherche dans le domaine des polymères pendant les années 50 a permis une croissance substantielle des informations chimiques et toxicologiques portant sur le feu. Une «Étude de l'information disponible sur la toxicité des produits de combustion et de décomposition thermique de certains matériaux du bâtiment dans des conditions d'incendie» effectuée en 1963 [3] a dénombré 297 références. L'expansion de cette base de données s'est poursuivie jusqu'à aujourd'hui en mettant principalement l'accent, d'un point de vue théorique, sur l'apport de faits fondamentaux dont dépend toute science.

À la fin des années 60 et au début des années 70, la recherche s'est de plus en plus tournée vers l'étude de méthodologies d'essais de laboratoire. Tandis que la compréhension

fondamentale du feu restait un but implicite de la toxicologie de la combustion, on s'est de plus en plus intéressé à essayer de définir des méthodes d'essais spécifiques qui pourraient évaluer ou classer les matériaux en ce qui concerne la sécurité incendie. Des études importantes ont été entreprises par exemple en Allemagne par Reploh et ses collaborateurs [4], et Hofmann et Oettel [5]. Une contribution fondamentale à la toxicologie aiguë par inhalation des produits de combustion a été faite par Kimmerle lors de la Série de conférences sur les polymères de l'Université d'Utah [6] en 1973. Le double objectif — compréhension de la menace d'incendie et essais des matériaux — était patent dans l'étendue de documents présentés lors du «Symposium international de toxicologie des produits de combustion» qui s'est tenu à l'Université d'Utah en 1976. À cette date, on comptait plus d'une douzaine d'études importantes [7] provenant de Belgique, de France, d'Allemagne R.F., du Japon, du Royaume-Uni et des États-Unis. Le concept général d'essai de cette période a été étudié par Birky en 1976 [8].

Après la publication des études mentionnées ci-dessus, plusieurs évaluations indépendantes, comprenant une évaluation effectuée par l'Académie nationale des sciences des États-Unis [9], ont exprimé le besoin de s'assurer que toute utilisation envisagée des résultats d'essais devait être liée à la compréhension des «imperfections et limitations» de ce type d'essai. Cette conception a remplacé celle précédemment adoptée qui préconisait l'utilisation directe des résultats des essais de toxicité pour obtenir un classement des dangers de toxicité dans les incendies.

L'accent a également été mis plutôt sur le rôle des essais toxicologiques et sur leur contribution à l'analyse des dangers/l'évaluation des risques pour les matériaux que sur celui d'une norme d'essai au feu entraînant directement une décision. Ceci est conforme à la distinction nette entre la toxicité et le danger en toxicologie classique [10], et est généralement accepté par les toxicologues de la combustion, comme l'ont exprimé Anderson et Alarie en 1978 [11].

Les essais dans le passé ont porté sur l'identification de matériaux donnant des produits inhabituellement toxiques¹⁾ lorsqu'on les brûle. Ces termes ont été remplacés par deux termes plus précis: produits de «toxicité spécifique non usuelle» qui concerne des produits qui exercent des effets toxiques que l'on ne trouve pas couramment dans les incendies (c'est-à-dire autres que la narcose ou l'irritation) et «produits à extrême haute toxicité» lorsque la toxicité de produits est beaucoup plus large dans le rapport masse/masse de produits à haute toxicité normalement trouvés dans les incendies.

3.2 Rapports sur l'état de la technique de la toxicologie de combustion

Un rapport approfondi sur l'état de la technique en matière de toxicologie de la combustion vient d'être achevé par les membres du personnel du Département de la technologie du feu au Southwest Research Institute, San Antonio, Texas. Les résultats de cette étude exhaustive (174 pages) ont été publiés sous le titre de «*Toxicologie de la combustion — Principes et méthodes d'essai*» [14]. Ce document est une version élargie d'un rapport soumis au Comité E-5 de l'ASTM sur les normes sur le feu «*Étude critique sur l'état de la technique de la toxicologie de combustion*».

Cette étude passe en revue les méthodes d'essais de divers pays et contient des commentaires approfondis sur les avantages et inconvénients de chaque méthode selon les auteurs. Bien que les opinions et conclusions présentées n'aient pas été soumises aux processus de consensus au sein de l'ASTM ou de l'ISO, la teneur réelle de cette étude devrait à elle seule être très précieuse pour toute personne essayant de mieux comprendre ce que l'on peut, ou ne peut pas attendre, des données obtenues en essai en toxicologie de la combustion.

Une autre étude ayant le même objet et la même teneur, intitulée «*Analyse des connaissances actuelles en matière de toxicité des produits de combustion*» [15] a été récemment publiée par le NFPA (National Fire Protection Association). Cette étude a servi de base à un rapport du Comité du NFPA sur la toxicité des produits de combustion auprès du Conseil des normes du NFPA.

Les études du Southwest Research Institute et du NFPA sont d'accord en arrivant aux conclusions suivantes: «Les essais actuels sur la toxicité des produits de combustion sont inadéquats à des fins réglementaires» et «la toxicité devrait être l'un des éléments d'une évaluation du danger du feu» [16].

3.3 Position actuelle

À la fin de 1982, le Groupe de travail 4 est arrivé au consensus qu'il était nécessaire d'essayer d'intégrer les informations de toxicité et de combustibilité (et qu'il ne fallait pas utiliser les informations de toxicité telles quelles comme base pour les décisions portant sur les matériaux).

Il n'y a pas eu consensus sur le calendrier ni plus généralement sur ce qui devait être fait avant qu'il convienne de proposer qu'une méthode d'essai de toxicité soit présentée en tant que projet de norme internationale. Malgré cela, il y a eu accord sur le fait que les groupes de travail de l'ISO devraient continuer à travailler pour élaborer un projet de norme internationale traitant des problèmes de façon appropriée.

4 Menace du feu sur la vie des individus

4.1 Aspects généraux

Bien que le présent Rapport technique traite principalement des dangers de toxicité en relation avec les incendies, l'incapacité de victimes d'échapper aux atmosphères d'incendie est souvent étudiée en fonction de trois facteurs principaux de danger:

- a) fumée: obscurcissement de la vision;
- b) chaleur;
- c) facteurs toxiques: narcose et irritation.

Il a été tenté de définir les limites des capacités humaines à fonctionner et en fin de compte à survivre à des incendies en termes de «limites supportables» pour chacun des facteurs toxiques (voir annexe B). Il a été suggéré que le point auquel la vie ou la mort se décide dans un incendie est le point auquel est atteinte la première limite supportable. Quelques incendies expérimentaux ont donc été étudiés dans des pièces où les limites supportables ont été atteintes selon une séquence définie et dans l'ordre indiqué ci-dessus.

1) Appelés par le passé des «supertoxicants».

Cependant, pour de nombreux incendies, il existe une difficulté importante de faisabilité à traiter précisément en tant qu'entités séparées les facteurs ci-dessus mentionnés alors qu'il est prouvé qu'ils sont généralement combinés.

C'est ainsi que la fumée, qui par obscurcissement visuel gêne la possibilité d'évacuation contient également des produits toxiques qui irritent les yeux, et diminuent encore plus la vision. De même, la chaleur, une irritation sévère et une narcose peuvent apparaître simultanément lors d'incendies de pièces en flammes provoquant une forte incapacitation physique, tandis qu'à la fin, les effets des gaz narcotiques, l'hypoxie due à l'appauvrissement en oxygène, ou la chaleur peuvent aboutir à provoquer la mort.

Nous pouvons donc envisager le «risque d'intoxication» de façon générale comme étant l'aspect du risque dû aux facteurs toxiques, mais il n'est pas du tout évident que le risque d'intoxication puisse en fin de compte se différencier quantitativement du risque global créé par l'incendie.

En outre, la menace que constituent les atmosphères d'incendie sur la vie des individus est fortement aggravée par des circonstances spéciales. L'incendie est particulièrement dangereux pour les nourrissons et les enfants, les personnes âgées, les invalides et ceux dont les capacités sont diminuées par l'alcool ou les médicaments ou par les drogues.

Le feu est également un problème particulier pour les gens qui ne sont pas dans leur environnement habituel et dans des endroits où les sorties sont physiquement bloquées ou encombrées.

4.2 Tendances des statistiques sur les incendies

Les statistiques sur les incendies provenant du Royaume-Uni et portant sur les années 1955 à 1971 ont montré une augmentation importante du nombre d'accidents fatals et non fatals pour cause d'«asphyxie par les gaz ou les fumées toxiques». En particulier, Bowes [17] a indiqué que le nombre des morts dus à des gaz ou à des fumées toxiques a quadruplé entre ces années. Des statistiques semblables d'autres pays sur cette même période ne sont pas disponibles. Cependant, historiquement, les statistiques britanniques ont soulevé la question de savoir si l'augmentation de victimes d'inhalation de fumée est en rapport avec l'utilisation croissante de matériaux d'ameublement modernes synthétiques sur cette même période.

Bien que les victimes d'incendie attribuées à la fumée et aux gaz toxiques au Royaume-Uni ont continué à croître, l'augmentation n'a pas été aussi dramatique depuis 1971. Les statistiques au Japon depuis 1968 et aux États-Unis depuis 1977 n'ont pas reflété une augmentation des morts dus à l'inhalation de fumée dans le passé récent.

Toutefois, les statistiques britanniques ont eu un fort impact historique. Il existe actuellement deux points de vue principaux permettant d'expliquer les statistiques au Royaume-Uni de 1955 à 1971 :

a) la composition des produits d'incendie a changé, si bien que la fumée des incendies «modernes» est plus toxique, si l'on prend le rapport de masse à masse, que la fumée produite par des matériaux «traditionnels» (par exemple le bois,

la laine, le coton) et que la présence de substances toxiques inconnues peut être responsable du fait que les personnes courent aujourd'hui un risque accru d'être asphyxiées et de ne pas pouvoir s'échapper d'un incendie;

b) la composition et la toxicité des produits d'incendie a peu changé, pour ainsi dire pas du tout, mais la vitesse de propagation de l'incendie est beaucoup plus rapide, et la vitesse d'évolution des produits est bien plus importante qu'auparavant.

Cependant, en considérant ces points de vue, il faut tenir compte du fait que les charges calorifiques ont augmenté dans les zones résidentielles typiques.

Il a également été suggéré que les statistiques pouvaient être influencées par des changements dans la manière de faire les rapports d'incendies, et que les incendies réels pourraient ne pas avoir changé autant qu'il semble.

Des informations qui pourraient être utiles pour comprendre les causes de décès et blessures des incendies émanent de plusieurs sources. Les données rassemblées par les organismes des incendies comprennent surtout des informations sur l'origine des incendies, leur étendue et la position de victimes, ce qui est d'une utilité limitée pour la compréhension des dangers toxiques des incendies, mais lorsque cette information est prise en considération avec des données de feux expérimentaux à grande échelle, il est possible de faire une évaluation des effets sur les victimes d'incendies. D'autres données sont obtenues d'études pathologiques de morts en incendies [18]. Les exposés de survivants des incendies et les expériences de pompiers sont des sources potentielles prometteuses d'informations pour comprendre les effets toxiques des atmosphères d'incendie, bien qu'aucune étude systématique ne soit publiée et que de telles informations sont plutôt anecdotiques.

Les principaux produits toxiques identifiés dans les incendies se divisent en deux classes: les gaz narcotiques qui peuvent provoquer une narcose et la mort, et les irritants qui provoquent une «incapacitation» principalement par des effets sur les yeux et les voies respiratoires supérieures. Ces effets peuvent gêner les possibilités de s'échapper et parfois provoquer la mort chez les victimes survivant à l'exposition immédiate par suite d'attaque des poumons.

Les deux gaz narcotiques principaux qui apparaissent dans les incendies, CO et HCN, ont été mesurés dans le sang des victimes d'incendies mortes [18] ou non [19]. On sait relativement peu de chose sur l'exposition aux produits irritants, étant donné qu'il est difficile d'identifier dans le sang s'ils proviennent d'un incendie (par exemple HCl, aldéhydes). Cependant, Treitman et al. et d'autres chercheurs ont détecté des niveaux élevés d'acroléine dans certaines atmosphères réelles d'incendie [20], [21].

De tous les gaz narcotiques, le CO est indubitablement le plus important et a donné dans le sang des concentrations de carboxyhémoglobine (> 50 %) dans 54 % des morts par incendie dans l'étude de pathologie récente [18] effectuée à Glasgow sur la région de Strathclyde en Écosse, alors qu'environ 70 % des victimes avaient des niveaux de carboxyhémoglobine capables de provoquer une «incapacitation» (> 30 % de carboxyhémoglobine), et tous les autres cas à l'exception de

deux d'entre eux avaient des brûlures suffisantes pour provoquer la mort. La contribution du HCN aux décès par incendie a été plus difficile à évaluer étant donné que les niveaux élevés de cyanure dans le sang étaient presque toujours accompagnés de niveaux élevés de carboxyhémoglobine dans le sang des victimes, mais le sang de 24 % des victimes contenait suffisamment de cyanure ($> 50 \mu\text{mol/l}$) pour avoir des effets invalidants et dans 5 % pour avoir constitué une menace sur la vie ($> 100 \mu\text{mol/l}$) [22]. L'autre facteur principal associé aux décès dus aux incendies dans la présente étude était un niveau d'alcool élevé dans le sang (42 % des victimes) bien que ce facteur soit trouvé moins significatif au Royaume-Uni dans son ensemble.

Environ 40 % des cas mortels dans l'étude faite à Glasgow avaient des hémorragies pulmonaires qui pouvaient être dues à des produits chimiques irritants plutôt qu'à la chaleur. Cependant, on connaît peu le rôle des produits irritants dans l'«incapacitation» et il y a peu de données publiées sur les êtres humains portant sur les effets de l'irritation des yeux et des voies respiratoires sur l'aptitude à s'échapper, particulièrement dans les incendies. Les combinaisons de l'analyse spectrométrique de la masse GC des atmosphères des produits de combustion avec des expositions d'animaux commencent à permettre d'identifier certains des composants importants [23].

Cependant, un autre point qui ressort de l'étude de Glasgow est qu'il n'y avait aucun groupe important de décès où la mort ne pouvait être attribuée ni au CO, ni aux brûlures. Il n'y a aucune preuve que les substances dont la toxicité spécifique est inhabituelle soient importantes dans les incendies bien que l'on ne puisse pas nier leur existence. Il faut se rappeler que, bien que la plupart des victimes décédées aient eu des brûlures ou des niveaux élevés de carboxyhémoglobine dans le sang, cela ne prouve pas que l'un ou l'autre de ces éléments soit responsable de l'«incapacitation» initiale. Néanmoins, lorsque les preuves obtenues à partir d'incendies et de victimes d'incendies réels sont étudiées avec des données provenant d'études d'incendie expérimentaux et de toxicité de la combustion, on en vient à penser que les substances ayant une toxicité spécifique inhabituelle ne sont pas importantes et que le produit toxique principal qui se forme dans les incendies provoquant l'«incapacitation» et la mort est le CO, avec, dans certains cas, une contribution possible du HCN [18]. De plus, les produits irritants sont susceptibles de jouer un rôle important en retardant la fuite par des effets sur les yeux et les voies respiratoires supérieures, et peut-être même sur les poumons. On en déduit également qu'il n'y a eu aucune modification importante de la toxicité des produits d'incendie qui soit responsable de la fréquence croissante de l'«incapacitation» et du décès, si bien que le problème de compréhension porte certainement sur la façon dont les produits de base (y compris le monoxyde de carbone) sont émis dans les incendies modernes.

4.3 Scénarios d'incendie et «incapacitation» des victimes

Les données provenant de statistiques d'incendie montrent que la grande majorité des blessures et des décès par les incendies se produisent dans des habitations (80 % au Royaume-Uni et aux États-Unis) tandis qu'une petite partie des blessures (20 %) et des décès (10 %) se produisent dans d'autres bâtiments tels que boutiques, hôtels, hôpitaux et clubs.

Il y a deux cas différents dans lesquels des accidents dus aux produits de combustion toxique se produisent: ceux qui se situent dans l'endroit où l'incendie a son origine et ceux qui sont éloignés de cet endroit, et dans chaque cas, les risques peuvent être dus à une combustion avec ou sans flamme.

Les statistiques au Royaume-Uni indiquent que, avec des incendies dans des locaux domestiques et des incendies lors du transport, la plupart des accidents se produisent au lieu d'origine de l'incendie. Pour les incendies dans les habitations au Royaume-Uni, cette classe d'incendie est responsable de la plus grande fréquence de décès (60 %) et d'une grande fréquence de blessures (39 %) et ces incendies se produisent le plus souvent dans les salles de séjour et dans les chambres, et sur le mobilier ou la literie. Dans ces cas, le matériau qui s'allume en premier peut être responsable de l'environnement toxique, le feu ne s'étant pas encore étendu aux autres matériaux, il n'y a pas de flux thermique externe au matériau qui brûle, et la flamme ou le feu qui couve sont soutenus par sa nature exothermique.

Aux États-Unis, les statistiques pour les années 1980 à 1983 indiquent que la plupart des morts dus à la fumée ont lieu seulement en dehors du lieu d'origine de l'incendie (21 % dans le lieu d'origine de l'incendie et 77 % en dehors). La raison peut être liée aux différences dans la façon de rassembler les informations entre le Royaume-Uni et les États-Unis, étant donné qu'au Royaume-Uni les victimes de «fumée» sont comprises dans les victimes «de brûlures et fumée combinées».

Le risque de toxicité dans ces incendies dépend du temps pendant lequel le feu couve ou de la rapidité avec laquelle la combustion se développe.

Avec des feux qui couvent, on a simplement le temps de s'échapper si l'alarme est donnée suffisamment tôt, mais les individus peuvent être paralysés par les fumées, en particulier le monoxyde de carbone, après une longue période, s'ils ne sont pas conscients du danger. Il n'est pas possible, à partir des statistiques d'incendie, de déterminer la fréquence de ce type d'incendie étant donné que, dans de nombreux cas, les feux qui couvent deviennent des incendies avec flammes avant d'être détectés. Cependant, il est probable que les incendies qui, selon les estimations, brûlent pendant 30 min ou plus avant qu'on les détecte, ont couvé pendant longtemps, et il paraît important de noter que les décès se produisent le plus souvent dans cette classe d'incendie.

Pour les incendies avec flammes où la personne se trouve dans le local d'origine, le risque porte sur les premières phases de l'évolution de l'incendie. L'incendie expérimental qui se développe le plus rapidement ne prend que quelques minutes pour atteindre des niveaux de chaleur et de gaz dangereux pour la vie [24], [25].

L'incapacité des individus à s'échapper de ces incendies semble dépendre d'un certain nombre de facteurs. Les accidents comprennent une proportion plus élevée d'enfants et de personnes âgées que la population dans son ensemble, et les individus qui perdent leurs moyens pendant la première phase de feu qui couve (voir ci-dessus), ou à cause de toute autre infirmité sont évidemment plus exposés. Il semble cependant qu'il y ait deux autres facteurs importants: le comportement de la victime et la vitesse exponentielle de l'évolution de l'incendie.

Dans de nombreux cas, la personne bénéficie d'un court instant pendant lequel elle peut effectuer les actions correctes lui permettant de s'échapper, après quoi, elle sera rapidement piégée. Certaines personnes peuvent être endormies pendant ce «laps de temps» critique où elles peuvent s'échapper, mais on a également des exemples de situations où la victime était consciente de l'incendie dès l'allumage, mais est restée pour essayer d'éteindre le feu, ou, pour quelque autre raison, n'a pas essayé de s'en aller avant la phase d'évolution très rapide du feu où la chaleur et le CO atteignent très rapidement des niveaux qui mettent en danger la vie de l'individu.

Le second scénario est celui où les accidents se produisent loin de la source de l'incendie. Outre le fait que ces accidents se produisent dans des habitations, ils ont lieu souvent dans des bâtiments publics, où un feu développé s'est propagé du premier matériau allumé aux autres. Les matériaux de ces incendies sont soumis à un important flux thermique externe, et dans certains cas, à des environnements pauvres en oxygène. Dans ces cas-là, d'importantes quantités de matériaux peuvent subir une combustion avec flammes ou une pyrolyse produisant de grandes quantités de fumées et de gaz toxiques.

Les incendies où la victime se trouve loin du local d'origine sont responsables du taux le plus important d'accidents non fatals (48 %) au Royaume-Uni et d'un taux important de décès (37 %). Dans ce cas, la victime a cinq fois plus de chances d'être tuée par la fumée que par les brûlures, et elle est souvent inconsciente de l'incendie pendant la phase cruciale du début, si bien que les gaz peuvent ne pas arriver jusqu'à la victime tant que l'incendie n'a pas atteint sa phase de développement rapide, et la victime est déjà prise au piège. Les causes principales de perte de connaissance et de décès dans ce type d'incendie sont presque certainement les fumées, particulièrement du monoxyde de carbone, qui peut atteindre rapidement des concentrations élevées, et les substances irritantes peuvent jouer un rôle crucial en «incapacitant» les victimes et en les empêchant de s'échapper.

5 Nature chimique des effluents du feu

5.1 Mécanisme de formation des produits

La connaissance des itinéraires principaux conduisant à la formation de produits de combustion [25], [26], [27] est une donnée essentielle permettant de comprendre de façon plus large les aspects chimiques de la toxicologie de combustion dans les incendies.

Sous l'action de la chaleur, les matériaux polymères se décomposent et émettent des produits volatils. Si l'on atteint une concentration de ces produits et s'il y a allumage, une flamme peut alors se développer et fournir de la chaleur en plus au polymère pour continuer le processus.

La phase primaire de la formation du produit comprend donc la décomposition thermique du matériau polymère et peut se produire dans des incendies sur toute une gamme de températures dans des conditions d'oxydation ou d'inertie (conditions pyrolytiques). La plupart des produits présents dans les effluents du feu sont du même genre que ceux résultant de la destruction des matériaux polymères qui ont échappé à la destruction par

les flammes. À des températures relativement basses (jusqu'à 400 °C), le matériau polymère se décompose pour donner un nombre restreint de produits chimiques complexes. C'est à des températures moyennes (400 °C à 700 °C) que l'on obtient la plus grande variété et souvent les plus grandes quantités de produits, lesquels peuvent comprendre les hydrocarbures, les composés oxygénés (aldéhydes, cétones), etc. C'est également la zone principale où les polymères sensibles à l'oxygène peuvent former des composés oxygénés en incorporant l'oxygène atmosphérique.

À haute température (au-dessus d'environ 700 °C), les composés organiques et organométalliques, qui sont instables pendant la durée d'exposition normale dans ces conditions, peuvent se décomposer. On trouve également des hydrocarbures polycycliques complexes et d'autres produits stables de faible poids moléculaire, tels que le cyanure d'hydrogène et certains nitriles organiques. Au contraire, la combustion avec flamme tend à détruire ces produits avec la formation d'une petite série de produits de combustion simples. Par exemple, avec un polymère contenant du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène, les produits de combustion seront le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone et l'eau; s'il y a également de l'azote, il peut se former de l'azote moléculaire et des oxydes d'azote.

Outre le CO, CO₂ et H₂O, une large gamme de produits se forme dans les effluents du feu. Les composés chimiques qui se dégagent pendant la combustion de bois et de polypropylène (40 kg) dans une pièce-couloir sont donnés au tableau 1. On y trouve également un résumé des principaux groupes chimiques.

5.2 Caractérisation des atmosphères d'incendie

Dans les dernières années, des progrès décisifs ont été réalisés dans l'analyse des effluents du feu [27]. Il est reconnu que la nature globale des produits dépend particulièrement du type de matériau polymère, des températures et des conditions de ventilation. Un certain nombre de facteurs sont importants pour la définition des atmosphères d'incendie pour des considérations toxicologiques et pour comparer les atmosphères entre des études d'incendie de laboratoire et des études d'incendie à l'échelle réelle.

Ces facteurs sont les suivants:

- a) les rendements en oxydes de carbone (et le rapport CO₂/CO) et la réduction en oxygène qui servent à mesurer les conditions de base de la combustion;
- b) la concentration en gaz toxiques spécifiques supplémentaires (par rapport au monoxyde de carbone) qui peut être importante pour les polymères spécifiques brûlés (par exemple cyanure d'hydrogène, chlorure d'hydrogène);
- c) les types et les concentrations de produits organiques «non brûlés» (identifications chimiques) (chemical finger prints) comprenant:
 - 1) les concentrations totales par rapport au monoxyde de carbone,
 - 2) la répartition en pourcentage des groupes importants, par exemple hydrocarbures aromatiques et aliphatiques, composés oxygénés, amines, nitriles, alogénures, etc.;