

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**5659-1**

Première édition  
1996-04-01

---

---

**Plastiques — Production de fumée**

**Partie 1:**

Guide sur les essais de densité optique

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

*Plastics — Smoke generation —*

*Part 1: Guidance on optical-density testing*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8dc031a0-ed79-4169-abe5-667583288902/iso-5659-1-1996>



Numéro de référence  
ISO 5659-1:1996(F)

## 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 en général 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. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La norme internationale ISO 5659-1 a été élaborée par le Comité Technique ISO/TC 61 *Plastiques*, sous-comité SC 4, *Comportement au feu*.

L'ISO 5659 comprend les parties suivantes présentées sous le titre général *Plastiques — Production de fumée*:

- *Partie 1: Guide sur les essais de densité optique*
- *Partie 2: Détermination de la densité optique par un essai en enceinte unique*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO 5659 sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1996

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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

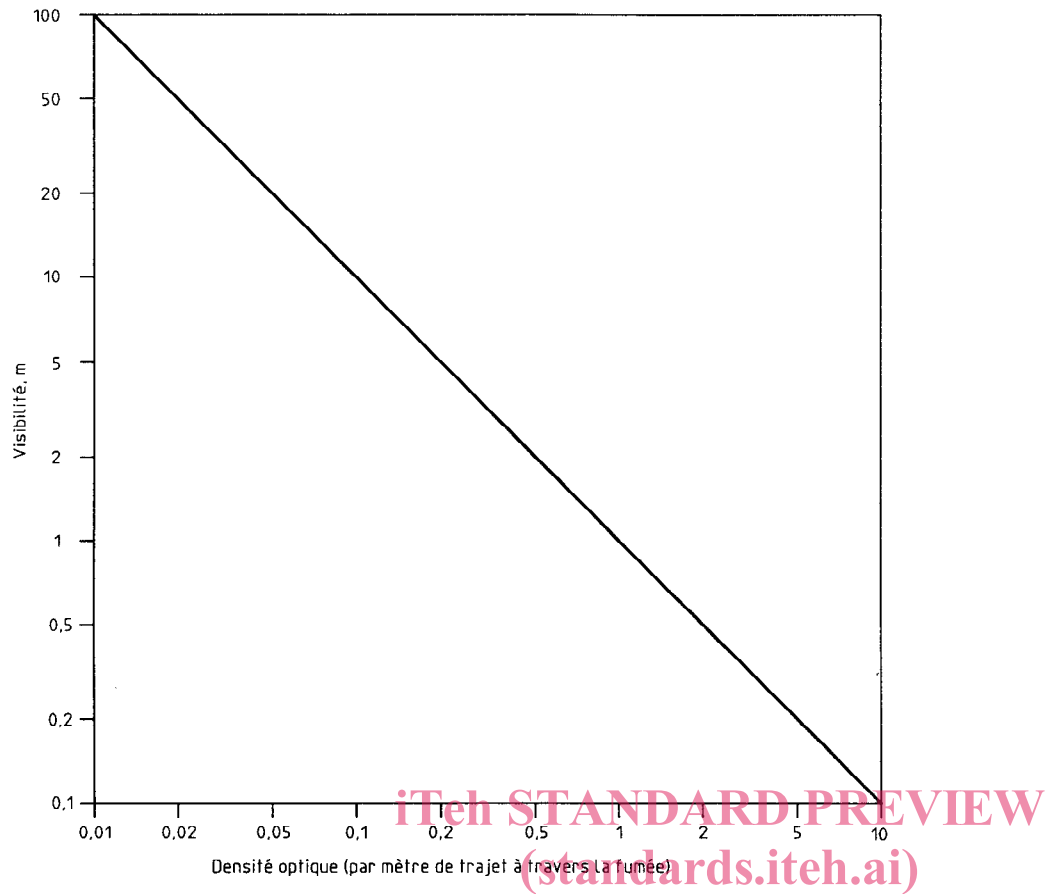
## Introduction

La fumée représente un danger majeur lors des incendies car elle entrave la vision en raison de l'absorption et de la diffusion de la lumière. Il en découle deux risques évidents: l'inhalation de gaz et fumées dangereux et l'obscurcissement par les particules en suspension dans la fumée, d'où une perte du sens de l'orientation. Ces risques, qui interagissent de manière complexe, sont généralement résolus par des procédures séparées.

Les particules de fumée réduisent la visibilité en raison de l'absorption et de la diffusion de la lumière. De ce fait, les gens ont parfois des difficultés à trouver les symboles de sortie, les portes et les fenêtres. La visibilité est souvent définie comme étant la distance à partir de laquelle les objets ne sont plus visibles. Elle dépend de nombreux facteurs mais une étroite relation a été établie entre la visibilité et les valeurs de densité optique de la fumée comme il ressort de la figure 1.

La production de fumée et ses propriétés optiques sont souvent mesurées en même temps que d'autres propriétés du feu, tels que le dégagement de chaleur et la propagation de flamme. Les mesurages peuvent se faire à petite échelle ou en vraie grandeur. Lorsqu'ils sont effectués à petite échelle et en systèmes fermés, ils sont appelés méthodes cumulatives ou statiques. Ils peuvent aussi être réalisés au moyen d'un système à écoulement; on les dénomme alors méthodes dynamiques.

Une distinction est quelquefois faite entre fumée et suie (voir 7.2): la fumée est mesurée par un dispositif optique, alors que la suie est déterminée par pesage des particules recueillies (méthode gravimétrique). Comme les problèmes de sécurité incendie ont le plus souvent rapport avec les mesurages optiques de la fumée, ce guide sur les essais de fumée insiste particulièrement sur la réduction de la visibilité.



**Figure 1 — Relation entre la densité optique et la visibilité**  
(d'après Jin 1978<sup>[5]</sup> — voir annexe B)

ISO 5659-1:1996  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8dc031a0-ed79-4169-abe5-667583288902/iso-5659-1-1996>

# Plastiques — Production de fumée

## Partie 1:

### Guide sur les essais de densité optique

#### 1 Domaine d'application

Le présent guide constitue la partie 1 de l'ISO 5659. La partie 2 de la présente Norme internationale décrit une méthode d'essai statique (ou cumulative) en enceinte unique. Actuellement, le domaine d'application du présent guide se limite à la méthode d'essai décrite dans la partie 2.

NOTE 1 Si les études futures devaient étendre le domaine d'application de la présente norme à d'autres essais de fumée (méthodes d'essai dynamiques, par exemple), le domaine d'application de la partie 1 serait développé en conséquence.

#### 2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 5659. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 5659 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 5959-2:1994, *Plastiques — Production de fumée — Partie 2: Détermination de la densité optique par un essai en enceinte unique.*

Guide ISO/CEI 52:1990, *Glossaire de termes relatifs au feu et de leurs définitions.*

#### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 5659, les définitions données dans le Guide ISO/CEI 52 ainsi que les suivantes s'appliquent:

**3.1 densité optique massique (DOM):** Mesure du degré d'opacité de la fumée en termes de perte de masse de matériau dans les conditions d'essai.

**3.2 densité optique de la fumée,  $D$ :** Mesure du degré d'opacité correspondant au logarithme décimal négatif de la transmission relative de lumière.

**3.3 densité optique spécifique,  $D_S$ :** Densité optique multipliée par un facteur dépendant de l'instrument et de la taille de l'éprouvette.

**3.4 modèle-feu:** Moyen permettant d'obtenir la décomposition et/ou combustion des éprouvettes dans des conditions définies en vue de représenter l'une (ou la totalité) des différentes phases connues du développement d'un incendie, afin de soumettre les effluents du feu à une évaluation.

NOTE 2 Il convient de ne pas confondre cette expression avec le terme «modélisation feu» utilisé dans le cadre de la simulation mathématique des caractéristiques du feu, par les spécialistes des essais de feu.

**3.5 scénario d'incendie:** Description détaillée des conditions qui prévalent à certaines phases du développement d'un incendie dans les conditions réelles ou lors de la simulation d'un incendie en vraie grandeur.

#### 4 Objectifs

L'objectif du présent guide est de fournir des informations sur l'applicabilité des mesurages de la densité de la fumée, décrits dans la partie 2 de la présente Norme internationale.

L'ISO 5659-2 a été élaborée, d'une part, pour améliorer l'évaluation du potentiel de production de fumée des matériaux en combustion dans une gamme de conditions de flux de chaleur plus étendue que celle relatives à d'autres essais de fumée en enceinte unique, et d'autre part, pour pouvoir soumettre à l'essai des thermoplastiques en position horizontale.

## 5 Scénarios d'incendie et modèles-feu

Au cours des dernières années, des progrès importants ont été réalisés dans l'analyse des effluents du feu. Il est notoire que la composition du mélange des produits de combustion dépend particulièrement de la nature des matériaux en combustion, des températures sur le site et des conditions de ventilation, et notamment de l'accès d'oxygène sur le foyer de l'incendie. Le tableau 1 donne un certain nombre de facteurs importants qui permettent de classer les atmosphères d'incendie et de comparer les atmosphères obtenues lors des essais de laboratoire avec celles obtenues lors des essais en vraie grandeur.

Un incendie met en œuvre un ensemble complexe de phénomènes physiques et chimiques étroitement liés. Il en résulte qu'il est pratiquement impossible de simuler tous les aspects d'un incendie réel à l'aide d'un appareillage à l'échelon d'un laboratoire. Ce problème de validité du modèle-feu reste peut-être le seul problème technique très préoccupant, lié à tous les essais de feu.

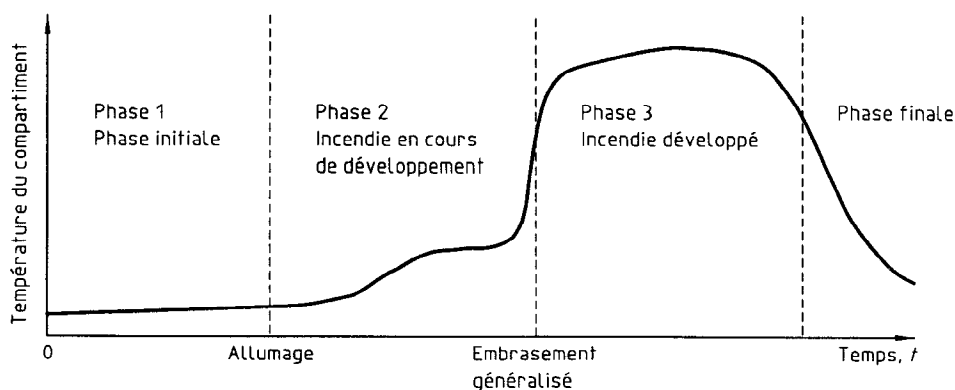
Après allumage, le développement de l'incendie peut se faire de différentes façons, selon les conditions d'environnement ainsi que la localisation des matériaux combustibles. Il est cependant possible d'établir un schéma général du développement d'un incendie à l'intérieur d'un compartiment, dans lequel la courbe générale température/temps présente trois phases (voir figure 2).

La phase 1 correspond à la naissance du feu avant la combustion soutenue avec flammes, s'accompagnant d'une faible augmentation de la température de la pièce. L'allumage et la production de fumées sont les principaux dangers durant cette phase. La phase 2 (feu en développement) commence par l'allumage et finit par une augmentation exponentielle de la température de la pièce. La propagation de flamme et le dégagement de chaleur sont les principaux dangers, en plus de la fumée, durant cette phase. La phase 3 (feu développé) débute lorsque la surface de tous les combustibles contenus dans la pièce s'est suffisamment décomposée pour que survienne un allumage soudain dans toute la pièce avec un accroissement de température rapide et important (embrasement généralisé).

**Tableau 1 — Classification générale des phases du développement d'un incendie dans les conditions réelles conformément à l'ISO/TR 9122-1<sup>[2]</sup>**

Phase du développement de l'incendie dans un compartiment	Volume d'oxygène <sup>1)</sup> %	Rapport CO <sub>2</sub> /CO <sup>2)</sup>	Température du substrat °C	Éclairement énergétique kW/m <sup>2</sup> <sup>3)</sup>
a) Décomposition sans flammes (phase initiale)	ISO 5659-1:1996			
1) Feu couvant (auto-entretenu)	21	Non disponible	> 100	Non disponible
2) Sans flammes (par oxydation)	5 à 21	Non disponible	> 500	< 25
3) Sans flammes (par pyrolyse)	< 5	Non disponible	> 1 000	Non disponible
b) Feu en cours de développement (avec flammes)	10 à 15	100 à 200	400 à 600	20 à 40
c) Feu développé (avec flammes)				
1) Ventilation relativement faible	1 à 5	< 10	600 à 900	40 à 70
2) Ventilation relativement forte	5 à 10	< 100	600 à 1 200	50 à 150

1) Valeur moyenne dans le «panache» de feu.  
2) Condition environnementale générale (moyenne) dans le compartiment, en supposant une certaine homogénéisation.  
3) Rayonnement incident sur la surface exposée (moyenne).



**Figure 2 — Diagramme représentant les différentes phases du développement d'un incendie à l'intérieur d'un compartiment**

À la fin de la phase 3, les combustibles et/ou l'oxygène ont été largement consommés et la température décroît à une vitesse dépendant de la ventilation et des caractéristiques de transfert de chaleur et de masse du système.

À chacune de ces trois phases, il peut se former un mélange différent de produits de décomposition (voir figure 1), et cela influence la densité de la fumée produite pendant chacune de ces phases. De plus, il est nécessaire d'avoir des informations sur le scénario d'incendie considéré, et en particulier, sur les conditions de flux thermique incident, l'oxygène disponible et les équipements de ventilation de la fumée.

## 6 Principes sur lesquels reposent les mesurages de la densité de la fumée

**6.1** Le principal mesurage effectué lors des essais conduits conformément à l'ISO 5659-2 porte sur la quantité de lumière transmise par la fumée par rapport (ou en pourcentage) à la lumière initiale transmise par le système optique. Le pourcentage minimal de lumière transmise sert ensuite à calculer la densité optique spécifique maximale pour chaque mode d'exposition de l'éprouvette, par exemple sous un éclairage énergétique de 25 kW/m<sup>2</sup> avec flamme pilote ou sous un éclairage énergétique de 50 kW/m<sup>2</sup> sans flamme pilote. Le choix des conditions d'exposition de l'éprouvette peut s'avérer critique lors de la détermination du début de l'allumage, et la fumée produite à partir de l'éprouvette peut varier considérablement selon que cette dernière se consume avec ou sans émission de flammes (voir 7.2).

**6.2** Il n'existe aucun moyen de prévoir, d'une part, la capacité de l'œil humain à voir à travers la fumée, et, d'autre part, la contribution des substances irritantes pour les yeux à accentuer la réduction de la portée visuelle. Certaines recherches limitées laissent supposer que les irritants pour les yeux peuvent réduire la vision de 50 % à 95 %.

**6.3** L'utilisation de la densité optique spécifique maximale en tant qu'unité de mesure de la production de fumée est fondée sur la loi de l'atténuation de la lumière de Bouguer qui s'exprime de la manière suivante:

$$T = T_0 e^{-\sigma L}$$

où

$T$  est le pourcentage de transmission;

$T_0$  est la transmission initiale (100);

$\sigma$  est le coefficient d'atténuation;

$L$  est la longueur, en mètres, du trajet optique;

$e$  est la base des logarithmes népériens.

Pour un aérosol monodispersé, le coefficient d'atténuation  $\sigma$  est proportionnel au produit de la taille des particules par le nombre de particules. Si  $\log_{10}(100/T)$  est défini comme étant la densité optique  $D$ , on a alors:

$$D = \log_{10}(100/T)$$

d'où

$$D = \sigma L / 2,303$$

Bien que la fumée produite par l'incendie ne présente généralement pas toutes les caractéristiques d'un aérosol monodispersé, il a été démontré que, d'un point de vue photométrique, la fumée se comporte de façon telle qu'à des fins de calcul, la densité optique peut être considérée comme approximativement proportionnelle à la quantité de particules de fumée produites. L'unité de mesure de la densité optique spécifique  $D_S$  est utilisée pour mettre à disposition l'échelle de valeurs pondérées pratique ci-après:

$$D_S = \left( \frac{V}{AL} \right) D$$

d'où

$$D_S = \left( \frac{V}{AL} \right) \log_{10}(100/T)$$

ou

$V$  est le volume, en mètres cubes, de l'enceinte;

$A$  est la surface exposée, en mètres carrés, de l'éprouvette;

$L$  est la longueur, en mètres, du trajet optique.

Pour la méthode à enceinte unique de l'ISO 5659-2,  $V/AL = 132$ .

**NOTE 3** Certaines méthodes d'essai décrivent la fumée simplement en termes de transmission de lumière. L'inconvénient de ces méthodes, c'est que les gens qui connaissent mal les caractéristiques des aérosols contenus dans la fumée risquent de supposer que la transmission de lumière en pourcentage est une fonction inversement proportionnelle à la quantité de fumée produite. Cette hypothèse conduirait à la conclusion erronée que, si la quantité de fumée émise double, la transmission de lumière en pourcentage diminue de moitié.

**6.4** Le concept de densité optique spécifique permet d'appréhender le phénomène du développement de la fumée en prenant en compte la surface de l'éprouvette considérée, le volume de l'enceinte d'essai et la longueur du trajet optique du photomètre. La densité optique spécifique est une grandeur sans dimension, mais sa valeur est liée à l'épaisseur de l'éprouvette essayée. Il s'ensuit qu'il convient de toujours consigner l'épaisseur de l'éprouvette lorsqu'on indique la densité optique spécifique qui caractérise un matériau donné.



**6.5** La relation entre l'obscurcissement et la perte de masse de l'éprouvette est mesurée par une grandeur appelée densité optique massique (DOM). Celle-ci peut être déterminée au moyen de l'encreinte unique décrite dans l'ISO 5659-2, modifiée avec une balance qui permet de déterminer la perte de masse de l'éprouvette au cours de l'essai. La densité optique massique (DOM) est donnée par l'équation suivante:

$$\text{DOM} = \frac{D}{L} \times \frac{V}{\Delta m}$$

où  $\Delta m$  est la perte de masse, en grammes, de l'éprouvette.

**6.6** Dans la méthode de l'ISO 5659-2, les mesurages de la transmission de la lumière sont effectués sur une période de 10 min au cours de laquelle l'éprouvette est exposée à un radiateur conique. Cette durée est généralement suffisante pour pouvoir déterminer la vitesse de production de fumée. L'ISO 5659-2 n'indique aucune prescription relative à l'enregistrement de la densité maximale de fumée. La courbe  $D_S/t$  de certaines éprouvettes présente un maximum et la densité de la fumée peut diminuer après ce maximum pendant l'exposition de 10 min. D'autres éprouvettes peuvent présenter une augmentation de la densité de la fumée pendant la totalité des 10 min d'exposition ou atteindre un maximum et rester à ce niveau jusqu'à la fin de la période de 10 min.

Les phases initiales de la production de fumée sont les plus importantes en termes de menace sur la vie. C'est pourquoi, dans l'intérêt d'économiser des essais et en particulier pour permettre d'inclure davantage d'éprouvettes dans la méthode d'essai et d'améliorer ainsi la répétabilité, la méthode de l'ISO 5659-2 limite à 10 min la durée d'obtention de  $D_S10$ . Des durées d'accumulation plus longues peuvent être utilisées selon le souhait des laboratoires d'essais s'ils ont pour objectif d'obtenir  $D_S \text{ max.}$ ; il convient toutefois, dans ce cas, de maintenir constante la durée d'exposition sur toute la série des essais comparatifs et de la consigner dans le rapport d'essai.

**6.7** Dans l'ISO 5659-2, plus l'épaisseur de l'éprouvette augmente, plus les valeurs de  $D_S$  sont élevées. Lorsqu'on fait des comparaisons, il convient que les différents matériaux soumis à l'essai aient toujours la même épaisseur (voir 6.4). Cependant, il est évident que les matériaux ne sont pas toujours disponibles dans une même épaisseur, et pour des raisons pratiques, certains matériaux peuvent être évalués dans leur épaisseur d'usage final; dans ce cas, il convient de l'indiquer avec les résultats obtenus. Pour les matériaux représentant une forte production de fumée, il est recommandé de les soumettre à l'essai avec une épaisseur d'environ 1 mm pour éviter la saturation à l'intérieur de la chambre à fumées et pour éviter une consommation d'oxygène trop importante.

De plus, pour les matériaux produisant beaucoup de fumées, il est conseillé d'arrêter l'essai avant la fin de

la période spécifiée de 10 min; dans ce cas, consigner le résultat en tant que  $D_{St}$ , où  $t$  est la durée à partir de zéro pendant laquelle les mesurages de la fumée ont été réalisés.

## 7 Facteurs influant sur la production de fumée

### 7.1 Généralités

De nombreux facteurs influent sur la production de fumée ainsi que sur ses caractéristiques. Il n'est pas possible de procéder à une caractérisation complète mais l'on sait que plusieurs variables importantes exercent une influence.

### 7.2 Mode de décomposition

La fumée est fondamentalement le produit d'une combustion incomplète. Cette dernière peut être une combustion à flamme vive ou une combustion sans flamme (feu couvant), ce qui peut produire différents types de fumée (voir 6.1). Dans la combustion d'un feu couvant, des substances volatiles sont dégagées aux températures élevées. Lorsqu'elles se mélangent avec de l'air frais, elles se condensent en gouttelettes sphériques qui apparaissent sous forme d'aérosol de fumée légèrement colorée. La combustion avec flammes produit une fumée noire riche en carbone dont les particules ont une forme très irrégulière. Les particules de fumée au moment de la combustion à flamme vive sont formées en phase gazeuse et dans les zones où les concentrations d'oxygène sont assez basses pour causer une combustion incomplète. Les particules charbonneuses de la fumée dans les flammes émettent une énergie rayonnante (identique à l'émission des corps noirs) qui est visible sous la forme d'une lumière jaune.

La taille des particules des gouttelettes sphériques provenant de la combustion lente d'un feu couvant est généralement de l'ordre de 1  $\mu\text{m}$ ; celle des particules irrégulières de suie issues d'une combustion à flamme vive est par contre souvent plus grande mais plus difficile à déterminer et elle dépend de la technique de mesurage.

Dans les feux de bois, on observe souvent que la quantité de fumée est moins importante dans une combustion à flamme vive que dans celle d'un feu couvant. Cependant, en ce qui concerne les plastiques, une telle généralisation n'est pas possible: la fumée produite dans les conditions d'un feu couvant peut être plus ou moins importante que celle produite dans les conditions d'une combustion à flamme vive. Pour ces raisons, il est important de noter s'il y a eu, ou non, allumage pendant l'essai de fumée, et, le cas échéant, les temps d'allumage et de disparition des flammes de l'éprouvette. En outre, une fumée froide dont la couleur et la composition peut être sensiblement différente de la fumée dégagée par la surface supérieure exposée, peut être émise par la face inférieure des composites.



Le flux de chaleur auquel l'éprouvette est exposée peut influencer sur la manière de brûler du matériau; il est intéressant d'évaluer la fumée produite par des matériaux soumis à un éclairage énergétique incident de faible niveau (par exemple: 15 kW/m<sup>2</sup> à 25 kW/m<sup>2</sup>) et de niveau élevé (par exemple: 40 kW/m<sup>2</sup> à 50 kW/m<sup>2</sup>). De cette façon, l'incidence des différentes phases de la croissance de l'incendie sur la propension du matériau considéré à dégager de la fumée peut être évaluée (voir article 6).

### 7.3 Ventilation et environnement en combustion

La production de fumée dépend du scénario de l'incendie et non simplement du matériau en train de brûler. Il est démontré que pour certains matériaux, la production de fumée augmente considérablement lorsqu'on réduit la ventilation.

Il convient que la vitesse de combustion et la zone touchée par la combustion soient toujours prises en compte lors de la détermination de la production de fumée dans les scénarios d'incendie réels. Un matériau produisant de faibles quantités de fumée par unité de surface en feu peut générer en réalité de grandes quantités de fumée dans un environnement réel d'incendie, à cause de la propagation rapide des flammes sur de grandes étendues.

### 7.4 Temps et température

La répartition des tailles des particules d'aérosols de fumée varie avec le temps; les particules de fumée se solidifient en vieillissant. Certaines caractéristiques de la fumée varient également en fonction de la température de sorte que les propriétés d'une fumée «ancienne» ou «froide» peuvent être différentes de celles d'une fumée «chaude» et «jeune». Ces facteurs sont importants pour les techniciens du feu lorsque ceux-ci prennent en compte le déplacement de la fumée dans les grands bâtiments. Ils doivent également être pris en compte lors de la conception des essais de fumée.

### 7.5 Mécanismes d'extraction des particules de fumée

Les grosses particules de fumée peuvent être extraites par un certain nombre de mécanismes. Dans les méthodes d'essai cumulatives, dans lesquelles le radiateur conique est entouré par les gaz de combus-

tion, une décomposition de postcombustion peut se produire puisque les particules de fumée recirculent dans l'enceinte d'essai. D'autres mécanismes d'élimination des grosses particules peuvent inclure leur dépôt sur les surfaces intérieures de l'enceinte et l'action de ventilateurs. Certains aspects relevant de ces mécanismes se retrouvent également dans les incendies réels lorsque la fumée circule dans un compartiment en feu. Comme ces effets sont possibles dans les essais de fumée cumulatifs, il est démontré que les phases initiales de l'exposition (par exemple, les 10 premières minutes) sont les plus significatives pour déterminer la vitesse de production de fumée.

## 8 Applicabilité des résultats

**8.1** Pour évaluer de manière réaliste les performances au feu d'un produit donné, il faut soumettre à un essai en vraie grandeur une éprouvette dont la forme et l'orientation doivent être celles de son utilisation réelle. Un essai isolé tel que celui décrit dans l'ISO 5659-2 ne peut qu'indiquer la réponse d'un matériau donné face au modèle-feu choisi. Il faut insister sur le fait qu'aucun essai de feu ou de fumée ne peut, en règle générale, permettre de mesurer les dangers d'incendie et de fumée. De plus, il ne faut en aucun cas supposer que l'obtention de résultats satisfaisants lors d'un seul essai normalisé de feu ou de fumée, permet de garantir un niveau de sécurité donné.

Les résultats provenant d'une variété d'essais de feu, comprenant aussi bien des essais cumulatifs que des essais dynamiques, fournissent des informations pour aider à la détermination, et par la suite, à la maîtrise des dangers dus à un incendie et à la fumée (voir article 5).

**8.2** Lorsque l'on relève les résultats d'un essai de densité de fumée tel que décrit dans l'ISO 5659-2, il est primordial d'inclure l'énoncé suivant dans le rapport d'essai:

«Les présents résultats se rapportent uniquement au comportement du produit lorsqu'il est soumis à l'essai dans les conditions d'essai définies; ces résultats ne sont pas destinés à constituer le seul critère d'évaluation du risque d'obscurcissement par la fumée pouvant être suscité par ledit produit en cours d'utilisation.»