

# Gestion de la fumée dans les atriums – Conception de différents systèmes

par G.D. Lougheed

**Ce numéro traite de la conception de systèmes de gestion de la fumée pour des bâtiments pourvus d'atriums à partir d'une approche technique et en fonction des principes généraux énoncés dans le numéro précédent, Solution constructive n° 47.**

Les systèmes techniques de gestion de la fumée permettent souvent d'élargir l'utilisation des atriums en faisant la preuve que l'on peut respecter les exigences fondamentales des codes du bâtiment et de prévention des incendies qui s'appliquent. Ils permettent aussi d'accroître la sécurité des occupants

et de réduire les pertes matérielles.

Généralement, ces systèmes font intervenir des dispositifs d'extraction mécanique afin de réduire l'accumulation de la fumée au sein de l'atrium et sa propagation vers les voies d'évacuation et les espaces ouverts<sup>2</sup>.

Certains codes modèles aux États-Unis et dans d'autres pays ont introduit des exigences en matière de systèmes de gestion de la fumée en fonction des critères de conception qui se trouvent dans des guides conceptuels tels que le NFPA 92B (publié par la National Fire Protection Association), « Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas ». Ces guides contiennent des analyses et des critères de conception relatifs à la gestion de la fumée dans les atriums [1,2,3].

La gestion de la fumée dans les atriums est fondée sur des principes utilisés dans les modèles d'incendie multizones : un incendie produit des gaz chauds qui s'élèvent au-dessus du foyer de l'incendie et forment un panache de fumée. En s'élevant, ce panache de forme conique entraîne de l'air, son diamètre augmente ainsi que son débit massique (taux d'accumulation de la fumée). Au plafond, les gaz chauds forment une couche de fumée (voir figure 1). Au fur et à mesure que la fumée s'accumule, la couche s'épaissit et descend pour éventuellement occuper la totalité de l'atrium (d'où visibilité réduite et production accrue de gaz vers d'autres parties du bâtiment). Le panache, la couche de fumée et la couche d'air ambiant ou froid, non entraîné par le panache montant, constituent trois zones distinctes dans la pièce (voir figure 1).

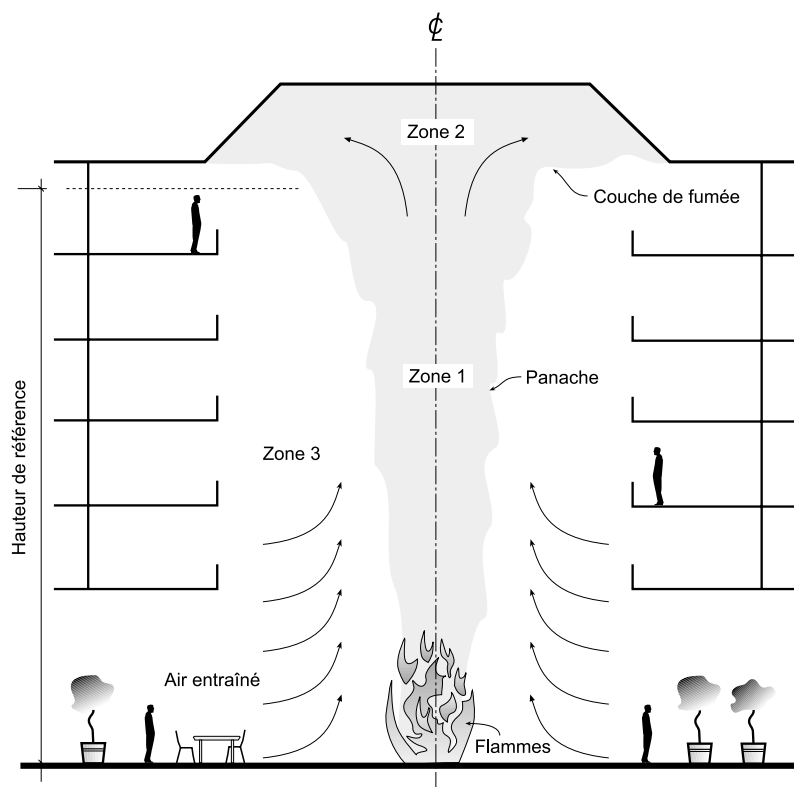


Figure 1. Production de fumée dans un atrium<sup>1</sup>

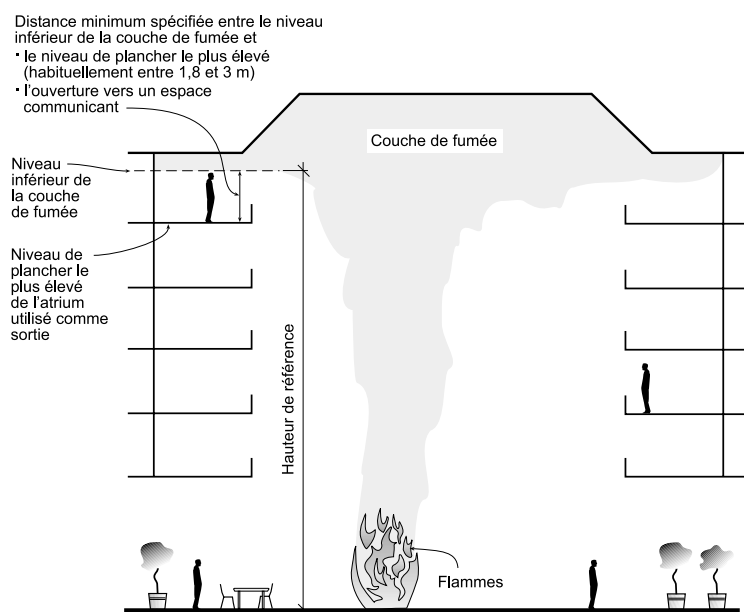


**Figure 2.** Le système de gestion de la fumée doit maintenir le niveau inférieur de la couche de fumée au-dessus de la hauteur de référence.

Pour calculer les propriétés du panache de fumée, l'épaisseur de la couche de fumée et ses propriétés moyennes telles que la température, les concentrations de gaz et la densité optique de la fumée, on a écrit des équations en fonction des données expérimentales. L'équilibre masse – énergie entre les trois zones se reflète aussi dans ces équations. Ces équations empiriques sont à la base de la conception des systèmes de gestion de la fumée qui s'appuient sur les guides techniques conceptuels [1,2,3].

### Conception

Les étapes fondamentales de la conception d'un système d'extraction de la fumée dans les atriums sont les suivantes :

1. **Critères conceptuels.** Cerner les objectifs conceptuels spécifiques auxquels doit répondre le système de gestion de la fumée et en déduire les critères correspondants.
2. **Incendie de référence.** Déterminer la taille et le lieu de l'incendie ou des incendies afin de calculer le débit de fumée.
3. **Extraction mécanique.** Déterminer si les critères conceptuels peuvent être respectés en laissant la fumée envahir l'atrium sans dispositif d'extraction. Si ce n'est pas le cas, calculer les exigences d'un système d'extraction mécanique qui réponde aux critères conceptuels.

Les différentes approches utilisées dans les codes et les guides techniques pour chacune de ces étapes sont résumées ci-après.

### Critères conceptuels

Les systèmes techniques de gestion de la fumée dans les atriums sont généralement mis au point afin de répondre à l'un des objectifs du CNB : protéger des vies humaines. Aux fins de la conception, la zone du

bâtiment qui doit rester exempte de fumée est déterminée en assumant généralement que le niveau inférieur de la couche de fumée doit rester au-dessus d'une hauteur prédéterminée (soit la hauteur de référence, mesurée à partir du plancher de l'atrium) pour une période donnée. Mentionnons deux exemples de critères conceptuels qui permettent d'atteindre cet objectif :

- le système de gestion de la fumée doit être capable de maintenir le niveau inférieur de la couche de fumée au-dessus de la plus haute ouverture non protégée des espaces attenants; ou
- le système de gestion de la fumée doit être capable de maintenir, pendant au moins 20 minutes après le début de l'incendie, le niveau inférieur de la couche de fumée de 1,8 à 3 m au-dessus du niveau de plancher le plus élevé de l'atrium utilisé comme sortie (figure 2).

Une autre approche conceptuelle possible est de veiller à ce que les occupants du bâtiment ne soient pas mis en conditions insupportables. La plupart des ingénieurs, cependant, sont réticents vis-à-vis de systèmes qui exposeraient les occupants à la fumée, même en petite quantité et même si cette exposition n'est pas fatale. Les guides techniques comme le NFPA 92B contiennent des méthodes pour calculer les paramètres de la fumée qui peuvent être utilisés dans l'analyse des dangers associée à la conception d'un système basé sur des critères de viabilité [1].

### Incendie de référence (taille et lieu)

L'incendie de référence à partir duquel sont effectués les calculs du système de gestion de la fumée doit être représentatif de l'incendie le plus réaliste ou le plus susceptible de se produire dans un atrium en fonction de la conception du bâtiment et de son utilisation, lesquelles, combinées, déterminent les matériaux utilisés pour construire le bâtiment et ceux qui se trouvent à l'intérieur. Le degré de communication ou d'ouverture entre l'atrium (voire les atriums) et les espaces attenants est aussi un facteur critique dans la conception d'un tel système. Les atriums ouverts ou partiellement ouverts nécessitent un dispositif de protection contre l'incendie plus complexe que les atriums fermés car il faut limiter la propagation de la fumée et protéger les voies d'évacuation; en effet, plus la communication est grande entre les espaces, plus le risque de propagation de la fumée est élevé.

Il existe une hypothèse fondamentale dans le choix d'un incendie de référence ou d'un scénario d'incendie : celui-ci doit être suffisamment important, c'est-à-dire, il doit y avoir peu de chances que se produise un incendie plus gros. Le niveau de sécurité ainsi obtenu sera acceptable, tel que stipulé

dans le code du bâtiment applicable ou par l'autorité en la matière.

### Taille de l'incendie

La taille de l'incendie de référence dépend de la quantité prévue de matériau combustible (charge combustible) dans l'atrium, laquelle dépend du type de bâtiment : un bâtiment à usage commercial, par exemple, aura généralement une charge combustible par étage plus lourde qu'un immeuble de bureaux. (Le tableau 1, p. 4, présente quelques exemples d'incendies de référence [4].) En général, la taille et la vitesse de propagation des incendies de référence sont basées sur l'analyse des statistiques en matière d'incendie pour un type donné d'occupation ou à partir des essais sur les matériaux combustibles trouvés habituellement dans ce type de bâtiment. Le lieu de l'incendie dans l'atrium joue également un rôle important sur la taille et la vitesse de propagation de l'incendie (voir le paragraphe *Lieu de l'incendie* ci-après).

Le **débit calorifique** est une mesure de l'ampleur de l'incendie. Plus le débit calorifique est élevé, plus l'incendie est important.

Le **débit massique de la fumée** est le taux suivant lequel le volume ou la masse de la fumée augmente dans la couche de fumée (taux de production de fumée).

Les paramètres principaux d'un incendie à prendre en compte sont le débit calorifique et le débit massique de la fumée. Au fil des ans, divers incendies de référence représentant divers scénarios ont été mis au point. Lors de la conception d'un système de gestion de la fumée, on calcule le débit massique de la fumée à partir de l'estimation du débit calorifique [1,2,3]. Dans le

cas d'atriums plus complexes, des modèles d'incendie numériques peuvent être nécessaires pour évaluer la capacité d'un système de gestion de la fumée à atteindre les objectifs conceptuels (voir le paragraphe *Modélisation numérique et gestion de la fumée* ci-après) [5].

### Lieu de l'incendie

Il existe deux emplacements principaux des incendies de référence :

- sur le plancher d'un atrium
- dans un espace ouvert

Les guides conceptuels fournissent des équations algébriques permettant d'estimer le débit massique de la fumée pour chacun de ces emplacements [1,2,3].

Lorsqu'un incendie prend naissance sur le plancher d'un atrium, le panache de gaz chauds s'élève jusqu'au plafond, entraînant continuellement l'air environnant et augmentant ainsi le volume de fumée. Dans des atriums très hauts, le volume d'air entraîné dans le panache peut être important et avoir des conséquences majeures sur les exigences en matière de ventilation de la fumée.

En principe, un incendie dans un atrium peut survenir à n'importe quel endroit du plancher, près d'un mur ou dans un coin.

Dans les deux cas, les murs attenants freinent l'entraînement de l'air dans le panache. Dans la plupart des analyses conceptuelles, on suppose que l'incendie se situe au centre de l'atrium où le panache de fumée sera symétrique par rapport à l'axe central et entraînera l'air de tous les côtés, produisant ainsi le plus de fumée possible (le pire des cas, voir figure 1).

Des équations algébriques sont aussi proposées pour estimer le débit massique de la fumée pour un incendie situé dans un espace ouvert sur un atrium : par exemple le débit de fumée provenant d'une ouverture dans le mur d'un atrium, comme une fenêtre, ou le débit de la fumée accumulée sous un balcon attenant, avant de se propager dans l'atrium. C'est ce que l'on appelle le débordement de fumée sous balcon (balcony spill plume), qui, à cause du volume d'air entraîné très important, peut provoquer beaucoup de fumée, même pour des incendies de moindre importance.

### Approches conceptuelles basées sur la taille et la propagation de l'incendie

Une des approches les plus courantes dans la conception de système de gestion de la fumée dans les atriums est fondée sur un incendie de référence dont l'état est stationnaire (tableau 1, p. 4) – c.-à-d., un incendie d'ampleur constante (ampleur maximale prévue). Un système conçu pour ce type d'incendie doit aussi pouvoir être efficace en cas de propagation de l'incendie [1,2,3]. Les paramètres de la fumée des incendies de référence constants, d'équations algébriques simples, sont relativement faciles à estimer, y compris le débit massique basé sur la taille de l'incendie (débit calorifique). En revanche, cette approche étant fondée sur l'incendie le plus gros possible, le facteur sécurité est très important et entraîne des coûts élevés.

Les débits calorifiques maximums pour certains produits sont donnés dans le guide NFPA 92B [1]. Par exemple, le débit calorifique maximum émis par un sac poubelle en plastique rempli de déchets de papier varie entre 120 et 350 kW et celui d'un sapin de Noël sec de petite taille (de 6,5 à 7,4 kg), entre 500 et 650 kW.

Une deuxième approche basée sur un incendie prenant de l'ampleur avec le temps de façon à modéliser un incendie réel, peut aboutir à des critères conceptuels moins onéreux. On suppose souvent que la propagation de l'incendie est proportionnelle au carré du temps ( $t^2$ ). Il y a quatre classifications de base en ce qui concerne la propagation d'un incendie ou sa vitesse de propagation : lente, moyenne, rapide et ultra rapide. Comme dans le cas de la taille de l'incendie cependant, la propagation est fonction d'un certain nombre de facteurs; il

**Tableau 1.** Incendies de référence constants dans un atrium [4].

| Charge combustible                                             | Incendie de référence (MW) |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Faible (petit incendie – atrium de charge combustible réduite) | 2                          |
| Moyenne (petit incendie – atrium avec combustibles)            | 5                          |
| Élevée (gros incendies)                                        | 25                         |

existe ainsi un éventail de vitesses de propagation possibles. Le concepteur sélectionne la vitesse de propagation de l'incendie de référence qui est la plus représentative en fonction de l'usage du bâtiment et des charges combustibles prévus. Il met ensuite au point un système qui offre les performances adéquates. Dans cette approche, il faut définir la taille maximale de l'incendie, étant sous-entendu que l'incendie, à cause des gicleurs, n'irait pas au-delà d'une certaine ampleur.

Une troisième approche pour déterminer le type d'incendie de référence consiste à utiliser des données provenant des essais d'incendie en vraie grandeur au cours desquels on a reproduit la charge combustible correspondant à un certain type d'occupation. Ces données permettent aux concepteurs de prévoir les conséquences du même incendie (charge combustible) dans des bâtiments de géométrie différente. Cette approche est utile lorsque l'on s'attend à ce que la charge combustible anticipée soit très semblable à celle des essais.

Actuellement, les données des essais en vraie grandeur ne sont pas encore disponibles pour entrer en compte dans la conception des systèmes de gestion de la fumée. Les bases de données existantes sont assez limitées, quoique quelques données figurent dans des guides conceptuels comme le NFPA 92B, qui est sans doute l'outil le plus largement utilisé [1]. On trouve dans la documentation les résultats de scénarios d'incendie protégés ou non protégés par des gicleurs.

### **Nécessité d'une extraction mécanique**

Une fois la quantité et le taux de production de fumée déterminés à l'aide des équations conceptuelles mentionnées plus haut, il faut décider si un système d'extraction mécanique est requis.

### **Gestion de la fumée sans extraction mécanique**

Des équations permettent d'estimer à quelle vitesse la fumée remplira un atrium pour un incendie de référence donné [1]. Certains atriums ont un volume assez important pour que la fumée s'accumule au-dessus de la hauteur de référence et que les occupants puissent ainsi évacuer en toute sécurité. Si les occupants peuvent réagir et évacuer

avant que la fumée n'envahisse l'atrium, des mesures supplémentaires en matière de gestion de la fumée ne seront pas forcément nécessaires. Un atrium partiellement ouvert sur un bâtiment attenant, par exemple, n'aura pas besoin de système d'extraction mécanique car la fumée peut être contenue au-dessus de l'ouverture (voir figure 2).

### **Gestion de la fumée avec extraction mécanique**

Un système d'extraction mécanique est tout indiqué lorsque l'on considère que les occupants n'ont pas assez de temps pour réagir et évacuer avant que la couche de fumée ne descende en dessous de la hauteur de référence.

Règle générale, un système d'extraction mécanique vise à maintenir la fumée au-dessus de la hauteur de référence pour un incendie spécifique. Pour une taille d'incendie et une hauteur de couche de fumée données, les équations algébriques fournies dans les guides techniques peuvent permettre d'estimer le débit massique de la fumée dans la couche de fumée située au-dessus de la hauteur de référence [1]. Pour maintenir la couche de fumée au niveau ou au-dessus de la hauteur de référence, le ventilateur du système d'extraction de la fumée doit être assez puissant pour évacuer une quantité suffisante de la couche de fumée (voir figure 3). Ce qui signifie que les concepteurs des systèmes doivent considérer avec beaucoup d'attention les phénomènes qui pourraient compromettre l'efficacité d'un système d'extraction de la fumée, comme la prise d'air avec l'extraction de fumée (plugholing) et les flux au plafond (ceiling jets).

**Prise d'air.** La possibilité que de l'air frais qui proviendrait du dessous de la couche de fumée soit poussé vers les bouches d'extraction doit être prise en considération pour les concepts dans lesquels la distance entre la hauteur de référence et les bouches d'extraction est limitée. À cause de ce phénomène, l'extraction devient non plus une évacuation de fumée uniquement mais de fumée mélangée à l'air ambiant de l'atrium; une partie de la puissance du dispositif d'extraction serait ainsi consacrée à chasser de l'air plutôt que de la fumée. Cette diminution de l'efficacité du système doit être prise en compte lorsque l'on calcule la hauteur de référence et la puissance du ventilateur (voir figure 4).

Dans un projet de recherche récemment terminé et parrainé par l'ASHRAE, les chercheurs en incendie de l'IRC ont combiné des études faites sur un modèle physique en vraie grandeur avec une modélisation numérique afin d'étudier cette question [6,7,8]. Ils ont découvert qu'une approche conceptuelle semblable à celle utilisée au Royaume-Uni pour empêcher la prise d'air

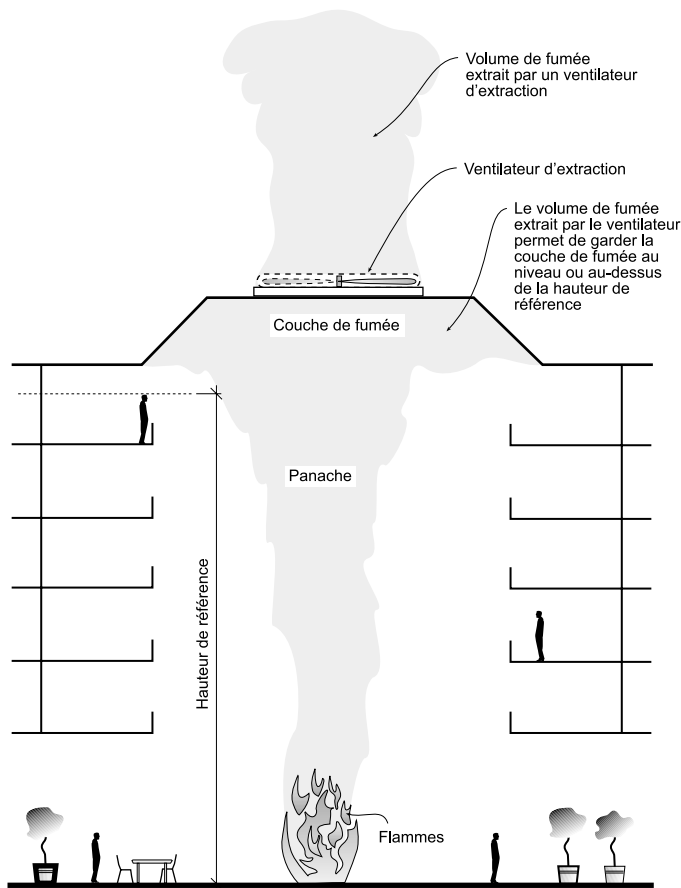


**Figure 3.** Le système d'extraction de la fumée doit être assez puissant pour évacuer une quantité suffisante de la couche de fumée.

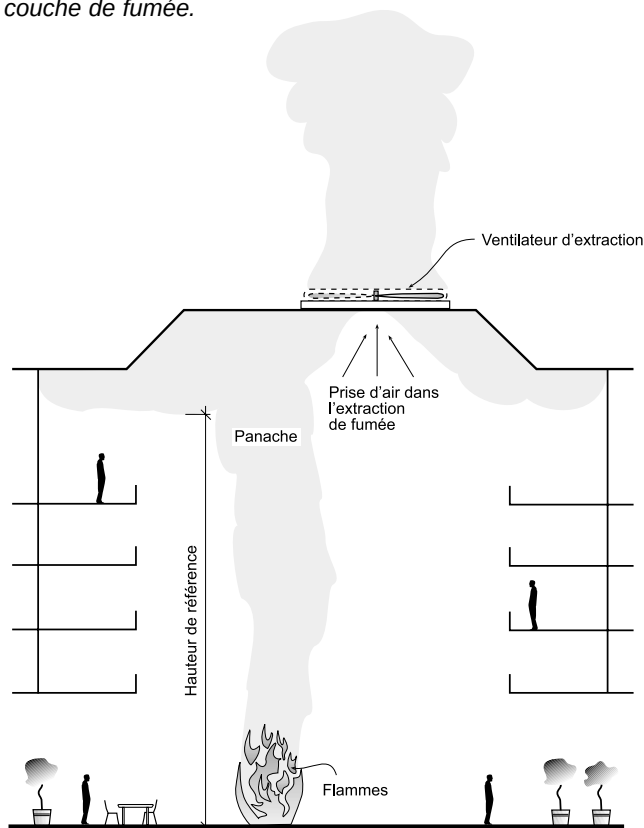


**Figure 4.** Phénomène de prise d'air

dans les systèmes de ventilation par conduction naturelle (ouverture libre, sans ventilateur) pourrait aussi s'appliquer à un système d'extraction mécanique des fumées dans un atrium. Des méthodes conceptuelles pour empêcher la prise d'air sont données dans l'édition 2000 du NFPA 92B [1]. Une approche consiste à placer plusieurs bouches d'extraction afin de réduire la quantité à extraire par bouche.

**Flux au plafond.** Outre le phénomène de prise d'air, le NFPA 92B recommande également que l'épaisseur de la couche de fumée sous les bouches d'extraction soit suffisante pour gérer le flux de fumée qui se produit lorsque la fumée atteint le plafond de l'atrium (voir figure 5, p. 6) [1]. À ce niveau la fumée se propage vers les murs. Ce flux est appelé le flux au plafond. Lorsqu'il rencontre le mur, le flux de fumée est redirigé dans l'atrium.

Les ingénieurs en sécurité incendie affirment d'une façon générale que le flux de fumée au plafond occupe entre 10 et 20 % de la hauteur de l'atrium, ce qui a d'ailleurs été récemment confirmé par les essais de l'IRC [9]. Ce type de flux de fumée réduit l'épaisseur de la couche de fumée qui peut être traitée avec un système d'extraction mécanique et doit donc être pris en compte au moment de la détermination de la hauteur de référence [1].

### *Modélisation numérique et gestion de la fumée*

Si des équations empiriques sont, dans bien des cas, suffisantes pour concevoir un système, des modèles d'incendie numériques sont requis pour les problèmes plus complexes. Beaucoup de modèles d'incendie par zones (modèles numériques basés sur les différentes zones d'un atrium, voir figure 1) peuvent prendre en compte l'extraction de la couche de fumée et peuvent donc être utilisés pour simuler des systèmes de gestion de la fumée dans des atriums. En revanche, avant d'utiliser un tel modèle, le concepteur doit déterminer s'il a été vérifié pour la hauteur de l'atrium en question.

Certains bâtiments modernes pourvus de plusieurs atriums et d'espaces communicants ou comportant de très grands espaces ouverts sont trop complexes pour être correctement représentés par les équations empiriques disponibles et/ou les modèles par zones. Pour ces bâtiments, une modélisation numérique plus élaborée se justifie. Les concepteurs de systèmes de gestion de la fumée utilisent souvent des modèles CFD (mécanique des fluides computationnelle) pour cette tâche car ils permettent un examen détaillé du flux de fumée dans les bâtiments.

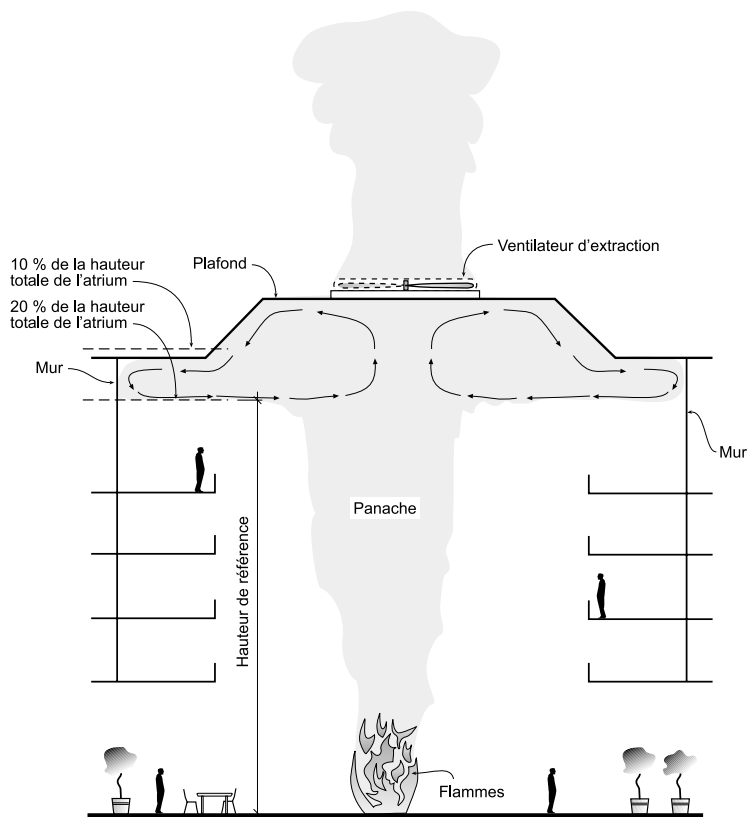


Figure 5. Flux de fumée au plafond

### Résumé

La conception d'un système de gestion de la fumée dans les bâtiments pourvus d'atriums dépend de l'utilisation et de la conception du bâtiment, les deux ayant une incidence sur les proportions de l'incendie et sa vitesse de croissance et donc sur la capacité des occupants à évacuer les lieux. Plusieurs approches ou outils sont disponibles pour créer de tels systèmes, depuis les équations empiriques pour des bâtiments simples jusqu'à la modélisation numérique pour les bâtiments plus complexes [1,2,3]. L'utilisation de systèmes de gestion de la fumée offre des options pour élargir l'utilisation de l'atrium tout en conservant des voies d'évacuation sûres. Toutefois, lorsqu'il applique ces systèmes, le concepteur doit prendre en considération certains facteurs qui limitent l'efficacité de tels systèmes, en l'occurrence la prise d'air et les flux au plafond.

### Références

1. NFPA 92B, Guide for smoke management systems in malls, atria, and large areas. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2000.
2. Klote, J.H. et Milke, J.A. Design of smoke management systems. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1992.

3. Morgan, H.P., Ghosh, B.K., Garrad, G., Pamlichka, R., De Smedt, J.-C. et Schoonbaert, L.R. Design methodologies for smoke and heat exhaust ventilation. BRE 368, Construction Research Communication Ltd, Londres, R.-U., 1999.
4. Fire and smoke management, heating, ventilating and air-conditioning applications handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1999.
5. Milke, J.A. Using models to support smoke management system design. Fire Protection Engineering, Numéro 7, 2000, p. 17-23.
6. Loughheed, G.D. et Hadjisophocleous, G.V. Investigation of atrium smoke exhaust effectiveness. ASHRAE Transactions, Volume 103, 1997, p. 519-533.
7. Hadjisophocleous, G.V., Loughheed, G.D. et Cao, S. Numerical study of the effectiveness of atrium smoke exhaust systems. ASHRAE Transactions, Volume 105, 1999, p. 699-715.
8. Loughheed, G.D., Hadjisophocleous, G.V., McCartney, C. et Taber, B.C. Large-scale physical model studies for an atrium smoke exhaust system. ASHRAE Transactions, Volume 105, 1999, p. 676-698.
9. Loughheed, G.D. et Hadjisophocleous, G.V. The smoke hazard from a fire in high spaces. ASHRAE Transactions, Volume 107, 2001, p. 720-729.

### Notes

1. Même si les figures représentent une toiture surélevée, ce n'est pas une exigence du Code national du bâtiment 1995.
2. Les espaces ouverts font référence à ces parties du bâtiment qui ont une voie d'accès ouverte sur l'atrium de sorte que le mouvement de la fumée entre ces espaces et l'atrium lui-même est libre. Ces espaces peuvent communiquer directement avec l'atrium ou indirectement, par des couloirs.

**M. G.D. Loughheed, Ph.D.**, est agent de recherche supérieur au sein du programme Gestion des risques d'incendie, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches.

© 2000  
Conseil national de recherches du Canada  
Décembre 2000  
ISSN 1206-1239

« Solutions constructives » est une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Canada

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0R6.  
Téléphone : (613) 993-2607 Télécopieur : (613) 952-7673 Internet : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>