NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Mouvements de la fumée dans les bâtiments en hauteur

Tamura, G. T.; McGuire, J. H.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:
https://doi.org/10.4224/40001061
Digeste de la construction au Canada, 1974

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=8c8cc77c-fa75-4666-92e5-600d419bcc24
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=8c8cc77c-fa75-4666-92e5-600d419bcc24

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at
https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright
READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits
LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

Canada

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 133F

Mouvements de la fumée dans les bâtiments en hauteur

Publié à l'origine en 1974

G.T. Tamura et J.H. McGuire

Veuillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

On sait depuis longtemps que la fumée produite par le feu peut mettre en danger la vie humaine. Les décès imputés aux incendies sont souvent l'oeuvre de la fumée plutôt que celle de la chaleur.

On assure aujourd'hui la sécurité dans les bâtiments en utilisant une charpente résistante au feu et la compartimentation, et en limitant l'emploi des matériaux combustibles où se présente un haut coefficient de propagation des flammes (**CBD 11F**, **31F**, **33F**, **45F**, **53F** et **71F**). Ces moyens et d'autres sont pris en considération dans la préparation des codes de la construction et de la protection contre le feu. Ils tendent essentiellement à limiter les proportions d'un incendie. L'objectif final consiste à minimiser les dangers qui menacent les vies et les propriétés.

Lorsqu'on réussit à circonscrire un incendie dans un endroit donné, la construction résistante au feu limite son importance et, de plus, réduit la quantité de fumée produite. Les compartiments résistants au feu n'empêchent pas cependant la propagation de la fumée d'un compartiment en feu aux espaces adjacents; l'enceinte constituée par le compartiment n'est, en effet, étanche ni à l'air ni à la fumée. Il est donc possible qu'un feu soit confiné dans un endroit précis, mais que la fumée puisse se propager dans les diverses parties d'un bâtiment. Il constitue alors, pour les occupants très éloignés de son point d'origine, un danger sérieux pour le personnel immédiatement voisin. On connaît des cas où les occupants ont perdu la vie bien que se trouvant sur des étages très éloignés de celui qu'envahissait l'incendie.

On a l'habitude, en cas d'incendie, d'ordonner l'évacuation des bâtiments en vue de minimiser les pertes de vie. Elle est réalisable, dans les bâtiments de faible hauteur, en un temps relativement court. Le temps nécessaire pour réaliser l'évacuation totale par les cages d'escaliers telles qu'elles sont conçues aujourd'hui s'accroît à mesure qu'augmente la hauteur du bâtiment; il peut excéder une demi-heure pour un bâtiment-type d'une hauteur supérieure à vingt étages (1). Dans les bâtiments en hauteur, de nombreux occupants seraient physiquement incapables, surtout dans les situations d'urgence, de descendre des étages

supérieurs jusqu'au rez-de-chaussée par les cages d'escaliers. La propagation de la fumée est un facteur dont il convient de tenir compte même dans les bâtiments de faible hauteur. Son importance croît, cependant, considérablement dans les bâtiments en hauteur où les voies de sortie peuvent devenir intenables avant que les occupants ne puissent être évacués. Le présent Digest étudie les causes et les caractéristiques du mouvement de la fumée dans les bâtiments.

Caractéristiques de la fumée

La fumée présente deux caractéristiques importantes; elle contient des produits de combustion toxiques et elle réduit la visibilité. Ces deux facteurs sont généralement liés l'un à l'autre. Les fumées denses sont d'ordinaire fortement toxiques, tout en réduisant notablement la visibilité.

Les propriétés physiques d'une atmosphère contenant de la fumée sont semblables à celles d'une atmosphère normale; toutes deux sont principalement composées d'azote. Les proportions d'oxygène et d'acide carbonique peuvent varier d'environ 10 pour cent par rapport aux proportions normales sans qu'il en résulte une modification notable des propriétés physiques de l'atmosphère. Même dans les conditions de visibilité très basse, la concentration des particules de fumée ne suffit pas à modifier assez les caractéristiques d'une atmosphère pour en affecter les mouvements. On peut donc supposer que la fumée suivra probablement les mouvements d'ensemble de l'air à l'intérieur d'un bâtiment.

Mécanisme du mouvement de la fumée

Même dans le cas où un incendie est confiné à l'intérieur d'un compartiment résistant au feu, la fumée peut aisément se répandre dans les espaces adjacents en passant par les ouvertures de l'enceinte du compartiment, telles que craquelures, et ouvertures autours des tuyaux, des conduits, ou des portes. Même lorsqu'il s'agit de très faibles différences de pression, ces fuites permettent un écoulement substantiel de fumée. Les facteurs principaux qui provoquent la propagation de la fumée à l'extérieur d'un compartiment résistant au feu sont:

1. l'augmentation de la température causée par le feu
2. les conditions atmosphériques, en particulier le vent et la température,
3. le système de pulsion mécanique de l'air.

La diffusion moléculaire joue un rôle important en tant que mécanisme de dispersion des gaz (odeurs, etc....) à l'intérieur des bâtiments. Comparée avec les divers autres mécanismes qui engendrent le mouvement de la fumée, elle est assez peu importante pour qu'on puisse la négliger.

Augmentations de température causées par le feu

La chaleur engendrée par un incendie augmente la température des gaz. Par un double mécanisme, dilatation thermique et appel d'air, cette augmentation provoque l'échappement de la fumée au dehors du compartiment, siège de l'incendie. A toute augmentation de température du compartiment correspond une augmentation de volume des gaz. Si l'on suppose que les fuites qui se produisent dans le compartiment sont assez importantes pour exclure la formation d'une pression appréciable, le volume de gaz croîtra approximativement en proportion de la température absolue. Si, dans un compartiment, la température augmente de 1000°F à partir de la température ambiante, le volume du gaz triplera par rapport à son volume primitif. Les deux tiers environ des gaz présents au début de l'incendie seront expulsés dans ces conditions et la dilatation thermique continuera à chasser les gaz du compartiment aussi longtemps que la température augmentera.

Lorsque la température atteint une valeur stable, les gaz cessent de se dilater. L'appel d'air joue alors le rôle principal dans le mouvement de la fumée en dehors du compartiment; le même mécanisme intervient en hiver dans les bâtiments chauffés (**CBD 104F**, **107F**).

Lorsque l'incendie n'affecte qu'une aire de plancher, l'appel d'air ne s'exerce qu'au-dessus d'un étage. Aux niveaux inférieurs, l'air s'infiltre à travers les fentes des murs du compartiment, tandis que la fumée qui s'échappe du compartiment aux niveaux supérieurs se dirige vers les

espaces adjacents. Lorsque l'incendie se produit dans une cage verticale, d'ascenseur ou de service, par exemple, l'appel d'air s'exerce sur toute la hauteur de la cage; il est ainsi beaucoup plus important. L'air pénètre dans la cage à partir des étages de la partie inférieure du bâtiment et la fumée se diffuse de la cage dans les étages de la partie supérieure. Ce mode de dispersion des gaz induit un déplacement descendant de l'air dans toutes les autres cages et à travers les ouvertures existant dans la construction des planchers (Figure 1). Un incendie dans une cage peut, en conséquence, entraîner la circulation de la fumée à travers la totalité d'un bâtiment.

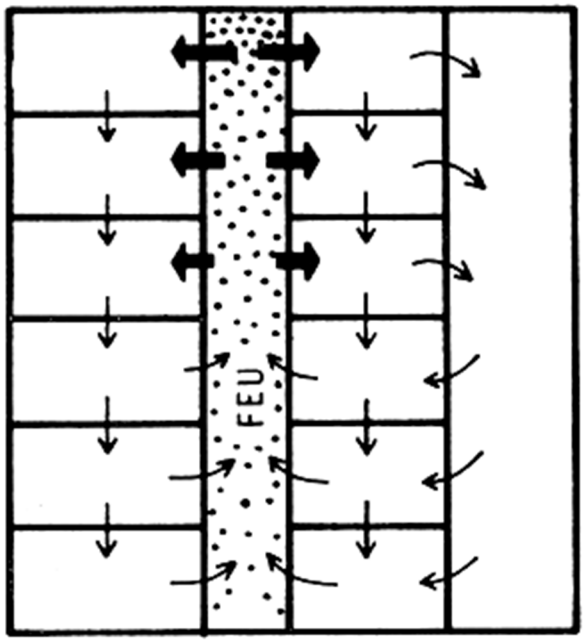

Figure 1. Mouvement de la fumée causé dans une cage de bâtiments par un incendie

Un incendie dans un étage peut, lorsqu'il existe un courant notable de gaz chauds de l'aire du plancher vers une cage verticale, entraîner la formation du même schéma de remise en circulation. Le fait peut se produire lorsqu'une porte est laissée ouverte entre une cage verticale et un étage en feu.

Effet des conditions atmosphériques

Les conditions extérieures peuvent, elles aussi, provoquer le déplacement de la fumée de la région où sévit l'incendie vers diverses parties d'un bâtiment. L'action du vent peut, dans certaines conditions, provoquer à l'intérieur d'un bâtiment un mouvement vertical ascendant de la fumée; son effet principal consiste cependant à déplacer l'air ou la fumée dans une direction horizontale vers les murs situés sous le vent et les murs latéraux.

Par temps froid, la combinaison de l'effet de cheminée et du chauffage du bâtiment (**CBD 104F**, **107F**) constitue une autre cause de déplacement de la fumée; celle-ci peut alors, à partir d'un incendie affectant un étage inférieur, se répandre vers le haut. L'effet de cheminée a pour résultat, aux niveaux inférieurs, d'aspirer l'air dans le bâtiment, et, aux niveaux supérieurs, de l'expulser hors de ce dernier. A l'intérieur du bâtiment, l'air s'écoule vers le haut, soit par les ouvertures que présente le plancher, soit par les cages; les cages recueillent la plus grande partie du courant ascendant. Les fumées engendrées par un incendie dans un plancher inférieur se dirigent ainsi vers les cages pour monter vers les étages supérieurs (Figure 2a). Lorsque le feu se déclare dans un étage supérieur, il existe peu de chances pour que le mécanisme en cause provoque un déplacement de la fumée vers d'autres étages sauf vers celui qui est situé immédiatement au dessus de l'étage affecté par l'incendie (Figure 2b).

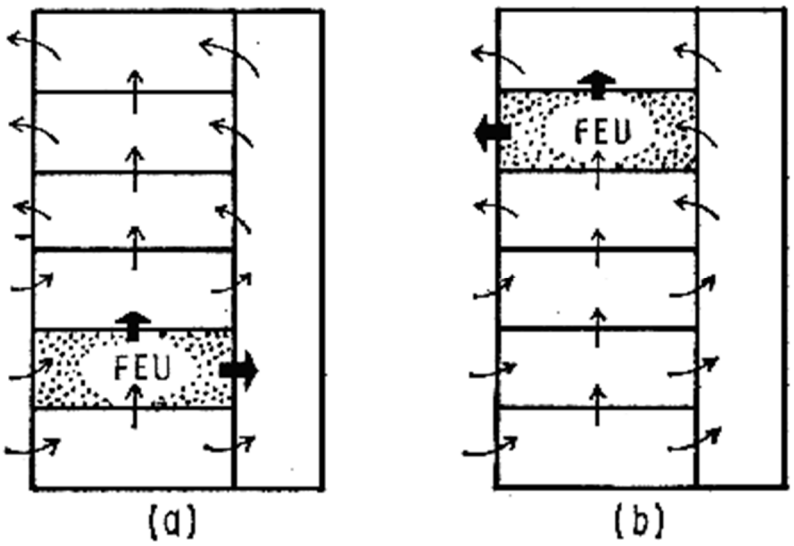

Figure 2. Mouvement de la fumée causé par l'effet d'appel d'air dans un bâtiment chauffé.
(a) incendie à un étage inférieur
(b) incendie à un étage supérieur

Pendant la saison d'été, alors que la température extérieure est plus élevée que la température intérieure, le mode de déplacement de l'air est alors inversé par rapport aux conditions d'hiver. Les débits d'air sont cependant beaucoup moins importants parce que la différence des températures intérieures et extérieures est beaucoup moindre. Le mouvement de la fumée vers les divers étages résulte donc surtout, en saison d'été, de la chaleur engendrée par l'incendie.

Effet d'un système de circulation de l'air

En cas d'incendie, un système de circulation de l'air peut également contribuer aux mouvements de la fumée. Il peut, par l'intermédiaire du réseau d'aspiration et de soufflage d'air, remettre en circulation la fumée dans tout un bâtiment. Certaines normes prescrivent, pour cette raison, l'interruption de tous les systèmes importants de distribution d'air aussitôt que la présence d'un excès de fumée ou de chaleur est détectée dans le système d'aspiration d'air. Même dans ce cas, cependant, les conduits d'air verticaux peuvent encore jouer le rôle de passage supplémentaire de la fumée vers les étages supérieurs.

Concentration de la fumée due à l'effet de cheminée

On a examiné les divers mécanismes qui causent les mouvements de la fumée. Ils agissent d'ordinaire en conjonction lors d'un incendie. L'étude des mesures propres à réduire les mouvements de la fumée doit, de ce fait, débuter par une évaluation de leurs divers effets. On étudiera spécialement ceux qui contribuent au maximum au déplacement de la fumée.

Les recherches révèlent que par temps froid, dans un bâtiment possédant de nombreux étages, l'appel d'air constitue la cause la plus importante de mise en circulation de la fumée. La Figure 3 donne les valeurs calculées des niveaux maximaux de fumée dans les diverses parties d'un bâtiment présentant des caractéristiques-types de possibilités de fuites d'air. On a supposé qu'un incendie règne au premier étage d'un bâtiment à vingt étages, que la température extérieure est de 0°F, et que le vent est nul. On a attribué la valeur 1 au niveau de fumée du premier étage. On a également supposé que l'aire entière de l'étage est à plancher ouvert, et uniformément polluée. À cause de la dilution due à l'infiltration d'air dans le bâtiment engendrée par les fuites et par l'appel d'air, les niveaux de fumée sont, au-dessus du premier étage, inférieurs à l'unité. Lorsqu'il s'agit d'un incendie grave, on peut considérer qu'un niveau de fumée de, 1 pour cent de celui qui règne sur l'étage incendié constitue un niveau critique au point de vue de la sécurité des occupants. Dans le cas considéré, le bâtiment tout entier est contaminé par la fumée à l'exception des étages portant les numéros 3 à 10. Ce schéma de répartition de la fumée représente ce qu'on peut attendre de l'appel d'air en régime permanent

lorsque les températures extérieures sont moindres que les températures intérieures; il est presque indépendant de l'amplitude des différences de température. La durée nécessaire pour atteindre les valeurs indiquées dépend des caractéristiques de fuites des divers compartiments et des différences de température. Par temps froid, la vitesse plus élevée d'écoulement due aux plus grandes différences de pression, diminue la période de temps nécessaire pour atteindre un régime permanent; la vitesse de l'envahissement par la fumée est donc plus rapide.

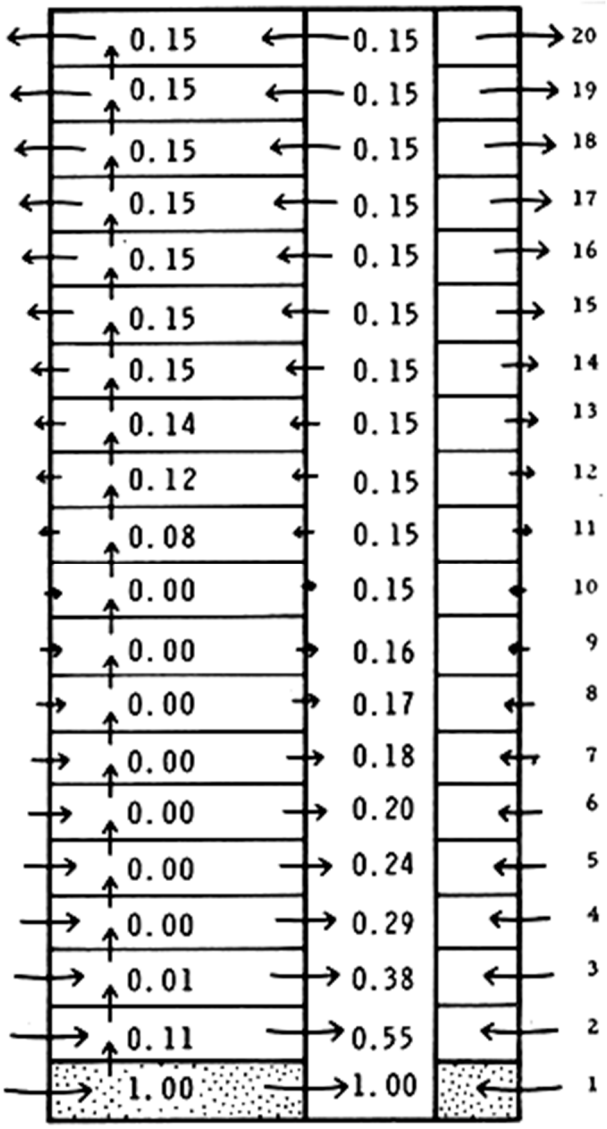

Figure 3. Disposition des concentrations de fumée dues à un incendie régnant sur le premier étage, et à l'effet d'appel d'air; état d'équilibre.

Dans le cas où l'on connaît les caractéristiques de fuites d'un bâtiment, on peut estimer le temps nécessaire pour que les concentrations de fumée atteignent dans tout le bâtiment les valeurs critiques. Les calculs effectués sur un bâtiment de vingt étages [2] indiquent que, cinq minutes après le début d'un incendie sur le premier étage, toutes les cages d'ascenseurs, la partie inférieure de la cage d'escalier et l'étage situé au-dessus de l'étage incendié sont déjà intenables. En quinze minutes les huit étages supérieurs présentent également des niveaux de fumée excédant la valeur critique. Après trois heures, et l'établissement d'un régime permanent le schéma de répartition de la fumée sera semblable à celui que représente la Figure 3. On doit noter, à propos de cet exemple, qu'on a choisi, comme temps initial, le moment auquel la fumée a atteint le niveau de fumée supposé dans la région de l'incendie. Il

se peut, en fait, que, dans certains cas, le développement de l'incendie soit extrêmement rapide.

Le débit global des fuites d'air et, par suite, la vitesse de mouvement de la fumée dans les bâtiments très élevés, dépend également de la superficie totale des fuites dans les murs extérieurs, et dans les parois des cages verticales. L'exemple qui a été donné concerne un bâtiment dont les caractéristiques de fuites peuvent être considérées comme typiques. Plus les éléments constitutifs du bâtiment sont étanches, plus le débit des fuites d'air et par suite de la contamination par la fumée, sera réduit. Il arrive que les surfaces présentant des fuites dans les murs extérieurs augmentent au cours des incendies, car la haute température peut provoquer le bris des fenêtres.

Si cette circonstance se présente à un niveau inférieur dans un bâtiment où s'exerce l'appel d'air, les différences de pression existant de part et d'autre des ouvertures dans une cage, et de part et d'autre d'un plancher, sont augmentées; il en est de même du débit de fumée qui se dirige vers les cages et les étages supérieurs. Il se peut cependant aussi qu'une grande ouverture dans le mur extérieur d'un étage où sévit un incendie, exerce, au début de celui-ci, un action favorable. Elle peut en effet jouer le rôle d'évent pour les gaz dilatés et éliminer ainsi les mouvements de fumée que la dilatation des gaz produit normalement.

La distribution de fumée représentée sur la Figure 3 est relative au cas d'un incendie prenant naissance sur un étage où n'existe aucune compartimentation. Si, comme le cas se présente dans les appartements, l'étage est compartimenté, et si un incendie se développe dans un des compartiments, la fumée qui s'échappe de ce dernier sera diluée par l'air provenant des fuites des autres compartiments avant de pénétrer dans les cages verticales de se diriger vers les étages supérieurs. La compartimentation des étages limite donc non seulement la propagation de l'incendie, mais aussi la densité de la fumée dans tout le bâtiment aussi longtemps que la porte du compartiment où sévit 1'incendie reste fermée. Si, par contre, elle est ouverte, le niveau de fumée du corridor peut atteindre l'unité, de sorte que la répartition de la fumée dans le bâtiment peut être semblable à celle qu'on observe dans le cas d'un étage sans compartimentation.

Conclusion

Lorsqu'un incendie prend naissance aux niveaux inférieurs d'un bâtiment très élevé, il se peut que les étages supérieurs et les sorties de secours soient contaminés par la fumée très rapidement et en moins de temps qu'il n'en faut pour évacuer le bâtiment. Il est donc extrêmement important, lorsqu'on dresse les plans d'un bâtiment, de prévoir le contrôle de la fumée. Les moyens de le réaliser seront étudiés dans un Digest à paraître ultérieurement.

Références

1. Galbreath, M. Time of evacuation by stairs in high buildings. National Research Council of Canada, Division of Building Research. Fire Research Note 8, May 1969. (Réimpression d'après Fire Fighting in Canada, February 1969).
2. Tamura, G.T. Computer analysis of smoke movement in tall buildings. ASHRAE Transactions, Vol. 75, Part II 1969. p. 81-93.