

# Qu'est ce que la voie d'air?

## 1 Introduction

Le modèle SAHF (Smoke-Air track-Heat-Flame) a été imaginé par l'Australien Shan Raffel dans les années 2000. Après un long débat avec des collègues et sous l'influence de l'Américain Ed Hartin, le modèle a été modifié un peu plus tard en B-SAHF. Ce modèle a également été appelé "la lecture du feu". C'est un outil de terrain qui permet de déterminer le type d'incendie qu'il va falloir traiter. B-SAHF signifie Bâtiment-Fumée, voie d'air, Chaleur et Flammes. Le but de cet article est de préciser ce à quoi correspond le paramètre : voie d'air.

## 2 Voie d'air

### 2.1 Pourquoi la fumée s'écoule ?

#### 2.1.1 *Le principe de la flottabilité ou le principe d'Archimède*

La théorie des écoulements n'est pas simple. Un grand nombre de paramètres physiques sont impliqués. Ici nous allons essayer de décrire ce qui se passe lors d'un incendie.

Lors d'un incendie un rôle crucial est joué par le foyer de l'incendie. Le foyer de l'incendie produit de la fumée chaude. Cette fumée est plus chaude que l'air ambiant. Tout le monde sait que lorsque des objets sont chauffés, ils se dilatent. Pour les solides et les liquides, la dilatation est assez limitée. A contrario, pour les gaz (fumée) l'augmentation de la température provoque une expansion massive. En raison de cette expansion, la densité du gaz diminue. Cela signifie que le poids de 1 mètre cube de gaz diminue. La fumée qui a une température de 315 ° C a une masse volumique qui est égale à la moitié de la densité de l'air à 20 ° C. Une augmentation de la température provoque une diminution de la densité.

En quoi cette différence de densité est-elle importante? Pour comprendre cela, il est nécessaire de réaliser un exercice mentale. Imaginer une baignoire rempli d'eau. Prenez une balle de ping-pong et plongez-la au fond. Maintenant lâcher-la. La balle de ping-pong remontera à la surface de l'eau. Cela est lié à la différence de densité. L'eau exerce sur la balle de ping-pong, une force dirigée vers le haut. C'est ce qu'on appelle le principe d'Archimède. Cette force ascensionnelle est directement proportionnelle au volume de la balle et à la différence de densité entre la balle et l'eau. La balle de ping-pong étant bien moins dense que l'eau, elle s'élèvera.

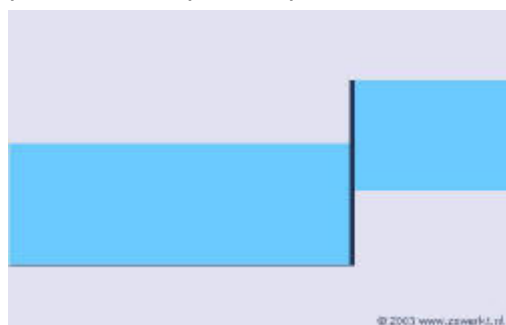
Du fait de sa faible densité par rapport à celle de l'air qui l'entoure, la fumée va s'élever. Au fur et à mesure de son élévation, elle va se mélanger avec l'air. Cela provoque un abaissement de la température des fumées. En raison de la baisse de température, la différence de densité devient plus faible. Et par conséquent la flottabilité diminue également. Dès l'instant où la fumée est refroidie jusqu'au point où sa température est

égale à celle de l'air ambiant, elle stagnera. On peut parfois observer ce phénomène dans une pièce qui est rempli de gens qui fument des cigarettes.

Contrairement à la balle de ping-pong, nous ne traitons pas avec une seule particule de fumée, mais avec un flux de fumée continu. Et contrairement à la baignoire, il n'y a pas de surface libre d'eau. Ici, la limite de l'air est constituée par le plafond du local. La fumée ne sera donc pas en mesure de s'élever indéfiniment. Nous pourrions considérer cela comme si nous relâchions des dizaines de balles de ping-pong les unes à la suite des autres, au fond d'une piscine. Après un certain temps, les balles arrivant au niveau du plafond repousseront celles qui y sont déjà. La même chose se produit dans un flux de fumée. La fumée va monter en direction du plafond, puis elle va s'étaler et se déplacer horizontalement le long du plafond.

### 2.1.2 Différence de pression

Une autre façon d'étudier la voie d'air, est de regarder la différence de pression entre les deux zones. Un exemple bien connu est celui d'un barrage. Une digue est construite pour atteindre un niveau d'eau plus élevé d'un côté que de l'autre. Pour cette raison, la pression est plus importante d'un côté que de l'autre. Sous la surface, un conduit peut



être ouvert pour permettre à l'eau de s'écouler d'un côté à l'autre. L'eau va toujours s'écouler de la zone de haute pression, vers la zone de basse pression. L'écoulement va essayer d'annuler la différence de pression. L'écoulement existera jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de différence de pression. Plus la différence de pression est grande et plus l'écoulement sera violent.

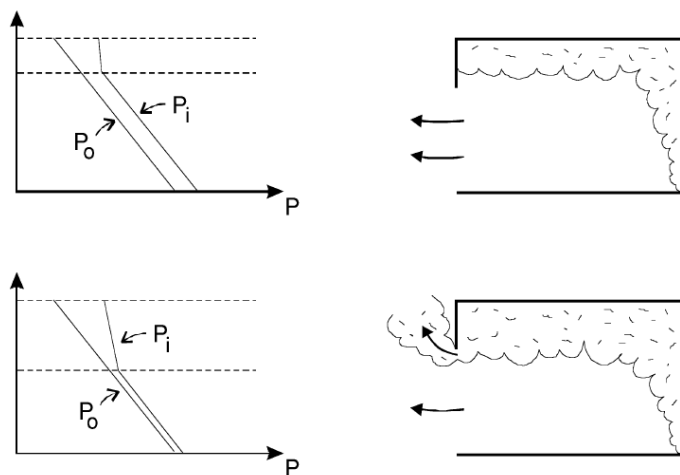
**Figure 1** Dessin schématique d'un barrage.

Le même phénomène se produit lorsque qu'il s'agit d'un gaz. L'appareil respiratoire (ARI) est un exemple bien connu des pompiers. A l'intérieur de la bouteille, l'air réside à une pression bien supérieure à celle de l'air ambiant. Lorsque la bouteille de l'ARI est ouverte, une sortie devient disponible à partir de laquelle l'excès de pression peut s'échapper. L'air s'échappe, ce qui produit beaucoup de bruit. L'air s'écoule plutôt rapidement. C'est à cause de la grande différence de pression entre l'air à l'intérieur de la bouteille et la pression atmosphérique. L'air qui s'échappe progressivement de la bouteille de l'ARI provoquera une baisse de la pression dans la bouteille. La vitesse de l'air sortant va diminuer et le bruit se calmera. Cependant l'écoulement d'air va continuer jusqu'à ce que la pression d'air de la bouteille de l'ARI soit égale à la pression atmosphérique. Durant un incendie, lorsqu'une surpression est créée à un endroit, un écoulement d'air (voie d'air) sera créé lorsqu'une ouverture est faite. La nature essaiera d'éliminer la différence de pression ainsi produite.

## 2.2 Que se passe-t-il après ?

Le développement qui s'en suivra sera fonction de la taille de l'incendie. Si le feu se développe et se propage, la quantité d'énergie libérée augmente. Dans ce cas, la quantité de fumée produite augmente également.

Karlsson & Quintiere décrivent le développement du feu dans leur livre "Enclosure Fire Dynamics". La description est un peu schématique, mais c'est une bonne approche de la réalité. Quatre différents profils de pression sont présentés en fonction des phases de développement de l'incendie, de la naissance jusqu'à la phase complètement développée. Pendant la phase naissante du feu une surpression est créée à l'intérieur du compartiment par la fumée. La fumée qui est produite se propage. Ce processus est gêné par la présence de l'air ambiant. Cela cause un léger excès de pression. Si une ouverture devait être faite, la pression pourrait être libérée.



A L'image 2 A, représente la situation lors de la phase naissante de l'incendie. Le foyer de l'incendie produit de la fumée. La fumée va s'élever et former une couche contre le plafond.

B Le feu va créer une légère surpression. A cause de laquelle une partie de l'air frais ambiant va être poussée vers l'extérieur de la pièce. A gauche de cette image, un schéma représente le profil de pression. L'axe horizontal indique la pression. Cela signifie que la pression

**Figure 2** Profile de pression A et B. (Graph: Karlsson & Quintiere)

augmente vers la droite. L'axe vertical indique la hauteur. La ligne notée  $P_o$  représente la pression de l'air extérieur. La pression d'air est constituée par le poids de l'air sur la terre. Plus on monte, plus la densité de l'air est faible. La pression d'air diminue. L'inclinaison de la ligne est évidemment exagéré, mais ceci a pour but d'illustrer plus clairement le phénomène. La pression à l'intérieur du compartiment est représentée par la ligne notée  $P_i$ . Le graphique montre que la pression à l'intérieur est un peu plus élevée qu'à l'extérieur. La ligne  $P_i$  est située côté droit. Il est également facile de voir que cette ligne est en grande partie parallèle à la ligne  $P_o$ . L'air à l'intérieur de la pièce est à peu près à la même température que celle à l'extérieur. Dans ce cas, la pression diminue autant avec la hauteur que celle de l'air extérieur. Le moment à partir duquel  $P_i$  touche la couche de fumée dans la pièce, la ligne dévie. La température de la couche de fumée est beaucoup plus élevée que la température de l'air ambiant. La densité de la fumée est donc plus faible. Cela signifie que la fumée pèse moins lourd que l'air ambiant. Si la fumée devait s'élever dans un tel environnement la pression décroîtrait moins rapidement.

Avec le développement du feu, plusieurs choses vont se passer. La couche de fumée va s'abaisser. Cela signifie que le moment où la ligne  $P_i$  diverge sera aussi plus bas. La surpression va diminuer car l'air est éjecté au travers de l'ouverture de la porte. La ligne  $P_i$  va se rapprocher de la ligne  $P_o$  en glissant vers la gauche. Cette dernière représente toujours la pression de l'air à l'extérieur. Cette ligne restera inchangée tout au long du

développement de l'incendie. Simplement dit, ce n'est pas parce qu'il y a un incendie qu'il y aura un changement des conditions atmosphériques ambiantes.

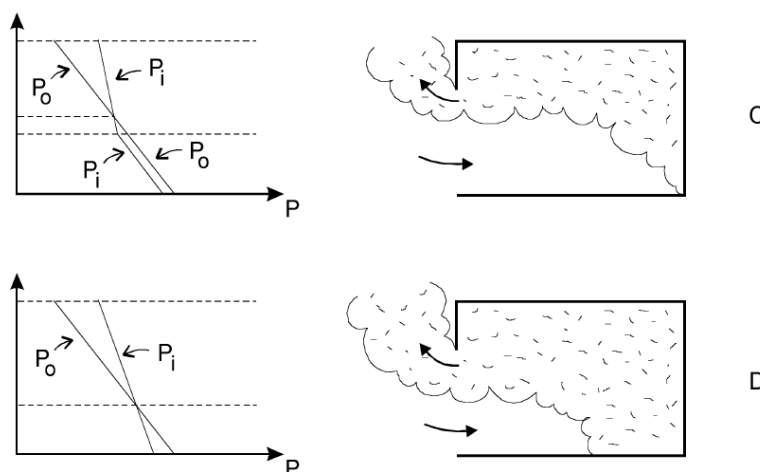
Par la suite un deuxième profil de pression est créé au moment où la couche de fumée passe au-dessous de la hauteur de l'ouverture de porte. Ce profil de pression est appelée profil B et ne dure que quelques instants. A ce stade, l'air frais et la fumée chaude s'écoulent à travers l'ouverture de la porte. Cela provoque rapidement l'élimination de la surpression à l'intérieur du local. Il s'agit d'une sorte de phase de transition qui n'est nécessaire que pour comprendre les explications qui suivent.

### 2.3 Phase de croissance et de plein développement du feu

Le feu a atteint sa phase de croissance. La couche de fumée c'est déjà bien abaissée. La température de la fumée a augmenté. Le foyer de l'incendie consomme une quantité importante d'air. La quantité d'air à l'intérieur de la pièce n'est plus suffisante pour alimenter le feu. L'air est aspiré de l'extérieur pour permettre au foyer de poursuivre son développement. Le profil de pression C sera créé.

La ligne  $P_i$  (pression de l'air à l'intérieure) est déplacé vers la gauche. La ligne  $P_i$  a évolué jusqu'à ce que la pression de l'air extérieure au niveau du sol soit supérieure à la pression de l'air à l'intérieur.

En raison de l'abaissement important de la couche de fumée, la ligne diverge maintenant encore plus près du niveau du sol que dans le profil B.



**Figure 3** Profils de pression C et D (Graph: Karlsson & Quintiere)

Deux zones bien distinctes peuvent désormais être visibles. La zone au-dessous de la couche de fumée, dans lequel la température est proche de celle de l'air extérieure. Dans cette zone, les deux lignes sont parallèles. La pression d'air va diminuer également en fonction de l'altitude car la densité est la même. Dû au fait que la pression à l'intérieur est inférieure à la pression extérieure, une voie d'air de l'extérieur vers l'intérieur est formée. C'est l'écoulement d'air (voie d'air) qui alimente le foyer.

La seconde zone est formée par la couche de fume. A l'intérieur de la couche de fumée la ligne  $P_i$  dévie. Cela indique que la différence entre la pression à l'intérieur et la pression extérieure diminue. À un certain point, la ligne représentant la pression à l'intérieur ( $P_i$ ) coupe la ligne représentant la pression extérieure ( $P_o$ ). A ce stade, la pression à l'intérieur est égale à la pression extérieure. C'est ce qu'on appelle le plan neutre. Typiquement, la zone neutre est située à environ 10 cm au-dessus du bas de la couche de fumée. Cette distinction a peu d'importance pour les pompiers. En pratique, le bas de la couche de fumée est un bon indicateur pour le plan neutre.

Au-dessus du plan neutre, les deux lignes continuent le long de leurs chemins respectifs. Cela provoque une nouvelle différence de pression qui est créée entre l'intérieur et l'extérieur. La pression à l'intérieur de la chambre est supérieure à la pression extérieure. Cette différence de pression augmente en fonction de la hauteur. Plus on est haut par rapport au plan neutre, plus la différence de pression sera élevée. Ce n'est pas le cas en dessous du plan neutre. Là, la différence de pression reste constante quelque soit la hauteur. Au-dessus du plan neutre, un écoulement de fumée sera créé. La vitesse à laquelle cet écoulement se déplace, augmente quand la fumée devient plus chaude et lorsque qu'il se rapproche du plafond. Sur le profil de pression C, il y a un écoulement vers l'intérieur d'air frais (voie d'air) en partie basse et un écoulement de fumée en partie haute vers l'extérieur. Ce profil sera maintenu jusqu'au Flashover. Le temps nécessaire pour que cela se produise dépend de la charge de combustible et des particularités du compartiment. Comme mentionné dans les articles précédents, cette période s'est considérablement réduite au cours des dernières décennies. Le délai pour que le Flashover se produise est généralement de 3 à 4 minutes. L'expérience nous a montré que la propagation de l'incendie aux combustibles dans une pièce ou une déplétion



**Figure 4** Ecoulement double pour un feu de compartiment. La fumée s'écoule par le haut de la porte ouverte. L'air par le bas (Photo: Nico Speleers)

d'oxygène (ouverture trop petite), peut à la fois provoquer un Flashover retardé.

Après le Flashover, il n'y a plus deux zones distinctes avec des températures différentes. Le compartiment est considéré comme étant une seule zone avec approximativement la même température dans l'ensemble de la pièce. La couche de fumée n'existe plus.

Le bas des ouvrants est encore utilisé pour amener l'air frais, mais la couche de fumée qui avait été clairement visible lors de la phase de croissance, a maintenant complètement rempli le compartiment. En plus, elle s'est mise à feu. L'image 3, D représente le profil de pression de cette phase. A l'extérieur, la pression d'air  $P_0$  reste inchangée. Le profil de pression à l'intérieur a pris une nouvelle forme. Considérant que la température à l'intérieur est à peu près la même à travers la pièce, la ligne représentant cette pression ne dévie plus. La température à l'intérieur de la pièce est beaucoup plus élevée qu'à l'extérieur. Cela signifie que la densité est beaucoup plus faible à l'intérieur qu'à l'extérieur. Cela cause en conséquence une diminution de la pression moins rapide en fonction de la hauteur. L'intersection des deux courbes indique maintenant le plan neutre. A ce point, la pression à l'intérieur est égale à la pression extérieure. En dessous de ce plan, l'air s'écoule vers l'intérieur tandis qu'au-dessus, c'est la fumée ( et les flammes ) qui iront vers l'extérieur.

### 3 En pratique ?

Le paragraphe ci-dessus décrit les différences de pression et la façon dont la voie d'air (l'écoulement d'air) est créée. Puis, les différents profils de pression en fonction des phases de développement d'un incendie de compartiment ont été discutés. Il est possible d'appliquer ces connaissances en pratique lors de la lecture du feu. Le trajet suivi par la fumée du foyer d'incendie à l'extérieur est appelée la voie d'écoulement. Une bonne observation de la voie d'air combinée à de bonnes connaissances de l'incendie et de son développement peut donner une grande quantité d'informations sur le feu en un instant. Il est cependant important de réaliser que tout cela se rapporte à petits compartiments. Cela signifie, une pièce de moins de 70 m<sup>2</sup>. Aussi, la hauteur du plafond ne doit pas dépasser 4 mètres.

#### 3.1 Hauteur de la couche de fumée

La hauteur de la couche de fumée nous donne des informations sur le niveau de développement de l'incendie. S'il y a seulement une couche de fumée au plafond, le feu est probablement encore dans sa phase naissante. Cependant on ne peut pas en être sûr à 100%. Il se pourrait qu'un exutoire soit présent quelque part en partie haute. Cela aurait une influence sur les indications « normales » données par la fumée.

Si, toutefois, la couche de fumée a atteint une épaisseur d'environ 1 mètre, le feu a atteint la phase de croissance. Des études récentes ont montré que le temps nécessaire à un incendie ventilé pour atteindre le Flashover, est d'environ deux à quatre minutes. Comme le feu se développe vers le point de Flashover, la couche de fumée va s'abaisser.

Lorsque la couche de fumée se trouve à 1 mètre du niveau du sol, le feu sera très près du point de Flashover. L'évolution de la hauteur de la couche de fumée (et du plan neutre qui se trouve un peu plus haut) est un bon indicateur qui peut être utilisé pour évaluer à la fois, la vitesse à laquelle un incendie se propage et le risque de Flashover.

#### 3.2 Vitesse de l'écoulement

Le début de cet article explique comment un écoulement peut être créé par une différence de température. Plus la différence de température est importante et plus la vitesse de l'écoulement le sera. Quand la fumée commence à se déplacer très rapidement, des turbulences apparaissent dans celle-ci. En observant la vitesse de l'écoulement, il est possible d'évaluer l'intensité du foyer. Un incendie violent va produire plus de chaleur. Cette chaleur va conduire à une plus grande différence de température. Ce qui va alors à son tour entraîner un écoulement plus rapide. Il est donc possible à partir de la vitesse de l'écoulement de la fumée de déterminer si le foyer est bien développé ou non. C'est aussi une indication permettant de déterminer la phase de développement dans laquelle l'incendie se trouve.

#### 3.3 Où est le feu ?

La voie d'air peut nous aider à localiser le foyer. La fumée s'écoule loin du feu. Lorsque l'on regarde la fumée, il est possible de déterminer (peut-être avec l'utilisation d'une caméra thermique) dans quelle direction la fumée s'écoule. Si l'on devait suivre la fumée en amont, nous arriverions à atteindre le foyer de l'incendie.

Mis à part cela, le contraire peut également être conclu: quand une porte est ouverte dans une pièce et que la fumée ne bouge pas, cela signifiera probablement que la pièce n'est (n'a pas été) connectée avec la pièce contenant le foyer.

Évidemment, il est également nécessaire de tenir compte de la possibilité que l'on n'était pas dans le trajet d'écoulement avant l'ouverture de la porte. Après avoir ouvert la porte un flux va commencer. Cela offre des informations sur le lieu de l'incendie, mais il est également important de réaliser que cette voie d'air nouvellement créé va fournir au feu de l'oxygène supplémentaire.

#### **4 Bibliographie**

- [1] *Enclosure fire dynamics*, Bjorn Karlsson & James Quintiere, 2000
- [2] *L'attaque par l'intérieur*, Koen Desmet & Karel Lambert, 2008 & 2009
- [3] Shan Raffel, [www.cfbt-au.com](http://www.cfbt-au.com)
- [4] Ed Hartin, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)

Karel Lambert