

# Exutoires & Incendie

Il y a beaucoup de confusion au sein des Services d'Incendie quand il est question de la création / de l'utilisation d'ouvertures pour ventiler en cas d'incendie. En Belgique, la ventilation par pression positive (VPP) n'est généralement pas mise en œuvre avant que le feu ait été éteint. Ainsi, la ventilation n'influe pas le comportement au feu. Dans d'autres pays, il est d'usage de mettre en place la ventilation durant ou même avant l'attaque intérieure. Ce mode de fonctionnement, en particulier avant l'attaque, peut influencer le comportement du feu. Il en sera de même lorsque la ventilation naturelle sera utilisée. Il est important que les Services d'Incendie intègre que l'ouverture d'une porte d'entrée équivaut à faire de la ventilation naturelle. Cela signifie que même l'approche belge (sans PPV) peut affecter la progression de l'incendie.

## 1 Influence sur le comportement du feu

Pour comprendre l'influence que peuvent avoir les ouvertures de ventilation sur le comportement du feu, on doit d'abord comprendre le comportement du feu lui-même. Ici, nous discernons deux types de comportement du feu différents. D'un côté nous avons le comportement au feu "ventilé" et de l'autre, il y a le comportement du feu "sous ventilé". Afin de définir ces deux termes, nous devons d'abord expliquer les deux régimes de combustion différents: combustion contrôlée par le combustible ou par la ventilation.

### 1.1 Régimes de combustion

Au départ, un incendie n'implique qu'une petite quantité de matériau dans la combustion. L'air est disponible plus que de besoin pour alimenter le foyer naissant. Les caractéristiques du matériau (combustible) et sa distribution dans la pièce permettra de déterminer l'évolution du sinistre. Les caractéristiques importantes sont la propagation de la flamme, sa vitesse de propagation de surface et le taux de dégagement de chaleur, qui correspond à la vitesse à laquelle un combustible libère son énergie. Au stade initial d'un incendie, le combustible contrôle la progression de celui-ci. Voilà pourquoi on appelle cela un feu « contrôlé par le combustible ».

Peu de temps après, le feu foyer initial se propage. La température augmente, alors que la concentration en oxygène diminue. Une couche de fumée est formée. Un peu plus tard, cette couche de fumée s'enflammera (roll over). Par ce fait, le transfert de chaleur par rayonnement va augmenter et impacter de façon significative le combustible placé en dessous. Le Flashover se produit. Pour que ce scénario se produise, une quantité suffisante d'air doit être disponible. Cela signifie que la porte ou la fenêtre doit être ouverte. Une autre possibilité est que la fenêtre (par exemple avec un simple panneau de verre) rompt pendant le développement de l'incendie.

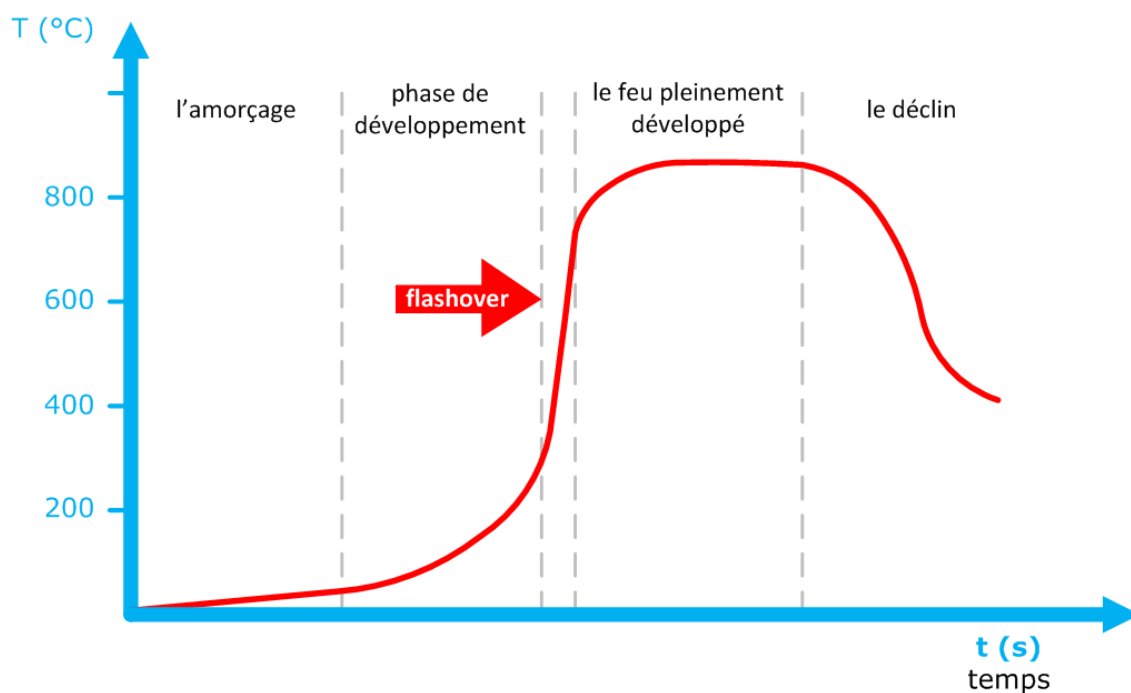
Après le Flashover, la pièce entière est en flamme. Le feu puise l'oxygène dont il a besoin à travers les ouvertures dont il dispose. Typiquement le feu sort à l'extérieur du bâtiment. En effet, l'alimentation en air disponible par l'ouverture est insuffisante pour alimenter le feu. Parce qu'il n'y a pas assez d'oxygène disponible à l'intérieur, une partie des gaz de combustion est brûlé à l'extérieur. En dehors de la pièce, il y a beaucoup d'oxygène. L'intensité du feu n'est plus déterminée par le combustible disponible. C'est la ventilation

(l'oxygène) qui détermine ce qui se passe. Pour chaque kilogramme d'oxygène qui pénètre dans le compartiment, environ 13,1 mégajoule (MJ) d'énergie peuvent être générée. Pratiquement parlant, 3 MJ d'énergie peuvent être libérés par mètre cube d'air. Quand un débit d'air de 1 m/s passe au travers d'une ouverture de porte de 2 m<sup>2</sup>, il peut alimenter un feu de 6 MW. Puisque c'est la ventilation qui détermine maintenant ce qui se passe, le feu est « contrôlé par la ventilation ».

## 1.2 Deux types de comportement du feu

### 1.2.1 Le comportement d'un feu ventilé

Le comportement d'un feu ventilé suit 5 étapes. Le feu commence par la phase naissante puis évolue vers le stade de croissance. Dans ces deux étapes, le feu est contrôlé par le combustible. L'étape suivante est le Flashover. A ce stade, la transition se produit entre un régime de contrôle par le combustible vers un régime de contrôle par la ventilation. La quatrième étape est le feu pleinement développé. Au cours de cette étape, le feu est contrôlé par la ventilation. Lorsque le combustible de la pièce est épuisé, la puissance du feu diminuera. Le besoin en oxygène diminue également. Ainsi, à un certain moment, le feu passera de nouveau en état de contrôle par le combustible.



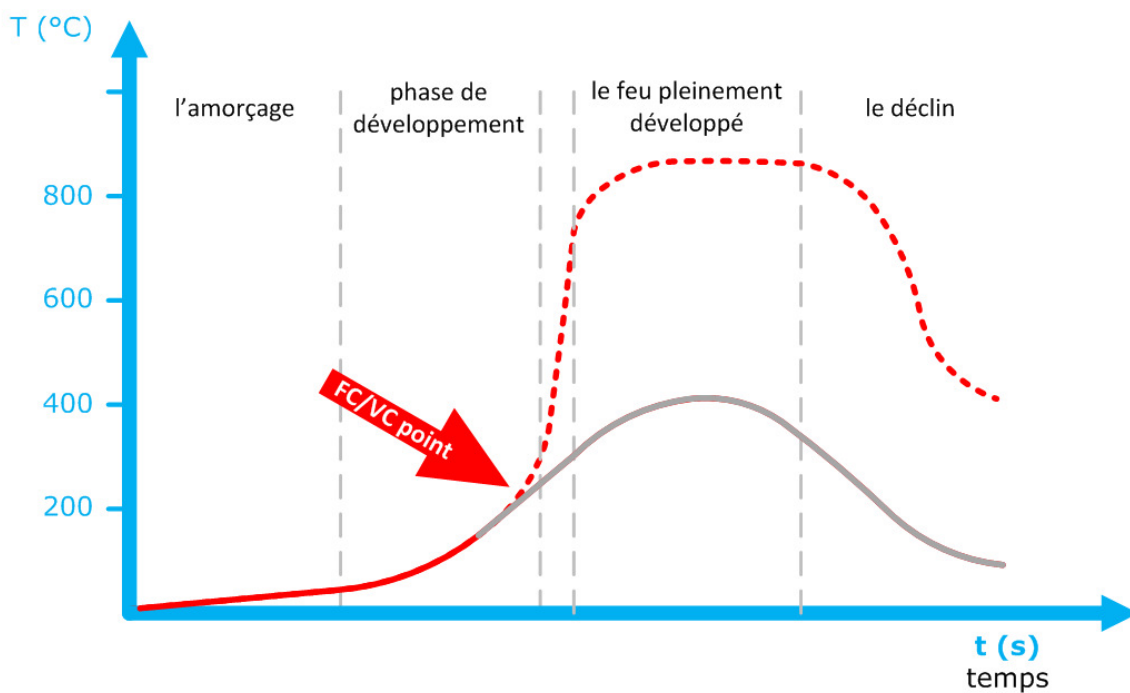
**Figure 1** Comportement d'un feu ventilé (Graph: Karel Lambert & Bart Noyens)

Le comportement d'un feu ventilé commence par un feu contrôlé par le combustible, puis passe par un régime de feu contrôlé par la ventilation et termine de nouveau par un régime de feu contrôlé par le combustible.

### 1.2.2 Comportement d'un feu sous-ventilé

Le comportement d'un feu sous-ventilé commence de la même façon que celui d'un feu ventilé. Au stade initial le feu est contrôlé par le combustible. Il en est de même lors de la phase de croissance. La différence réside dans la disponibilité des ouvertures de ventilation. Quand il y a peu ou pas d'ouvertures de ventilation, la concentration d'oxygène va baisser rapidement. Le feu deviendra alors contrôlé par la ventilation avant que le Flashover n'ait pu avoir lieu. Le feu restera contrôlé par la ventilation jusqu'à ce que le feu meurt de lui-même ou jusqu'à ce qu'il soit éteint par le service d'incendie.

*"Un feu sous-ventilé est un feu qui devient contrôlé par la ventilation avant que le Flashover n'ait pu se produire."*



**Figure 2** Comportement d'un feu sous-ventilé : la ligne rouge indique la partie qui est identique entre les deux types de comportement de feu. La ligne rouge en pointillé représente le comportement naturel ou ventilé du feu alors que la ligne grise représente le comportement d'un feu sous-ventilé. (Graph: Karel Lambert & Bart Noyens)

Le feu sous-ventilé commence aussi comme un feu contrôlé par le combustible, mais passe dans un régime de contrôle par la ventilation beaucoup plus tôt. Cela se produit avant le Flashover. Le feu reste contrôlé par la ventilation jusqu'à ce qu'il meurt de lui-même ou jusqu'à ce qu'il soit éteint.

### 1.3 Influence de la ventilation

Aux États-Unis, il est coutume de ventiler pendant les opérations de lutte contre l'incendie. Cela signifie généralement que des ouvertures de ventilation supplémentaires sont effectuées. Ceci peut être réalisé en brisant les fenêtres (ventilation horizontale) et par la création d'ouvertures dans le toit (ventilation verticale). La plupart du temps la ventilation

naturelle est obtenue. Cela signifie qu'aucun ventilateur à pression positive n'est utilisé. Youtube héberge d'innombrables vidéos de feux où la ventilation provoque des situations échappant à tout contrôle.

Puis, une personne a pensé à cette tactique. Aux États-Unis cette tactique est créditée par Benjamin Franklin (1706-1790). Cet inventeur et pompier a conçu la tactique pour se débarrasser de la fumée pendant les opérations de lutte contre l'incendie. La tactique a donné de très bons résultats pendant des années. Ceci parce que le feu se comportait différemment dans le passé. Le combustible était principalement constitué de produits naturels alors que de nos jours le combustible d'une maison est principalement constitué de dérivés de pétrole. Steve Kerber a montré que le temps nécessaire à l'obtention du Flashover a diminué considérablement. Ce temps qui était d'environ 30 minutes dans les années 50 a aujourd'hui été réduit à 3 à 4 minutes. Cela veut dire que les incendies sont maintenant contrôlés par le combustible pendant une période beaucoup plus courte que dans le passé.

L'application de la ventilation lors d'un incendie contrôlé par le combustible a un effet très limité. Ce qui se passe sur un feu est déterminée par les caractéristiques du combustible après tout. Cela explique pourquoi la ventilation a été une tactique standard aux États-Unis depuis si longtemps. Même dans une bonne partie du 20<sup>e</sup> siècle, ce fut une très bonne tactique.

Dans les bâtiments modernes, le feu devient très rapidement contrôlé par la ventilation. Quand le feu est devenu contrôlé par la ventilation avant le Flashover, nous avons affaire à un feu sous-ventilé. Ce type d'incendie se produit de plus en plus ces derniers temps. Quand une ouverture est créée dans la paroi d'une pièce dans laquelle un feu sous ventilé brûle, le taux de dégagement de chaleur de l'incendie va augmenter. Avec ce type de feu c'est le niveau de ventilation qui détermine ce qui se passe. En faisant une ouverture, une ventilation supplémentaire devient disponible pour le feu. Il existe différentes formules de calcul de la puissance maximale pouvant être générée par un incendie en fonction de la surface et de la hauteur de l'ouverture. L'ouverture d'une porte qui fait 2 m de haut et 0,9 m de large, peut permettre au feu d'atteindre une puissance de 3 ou 4 MW. En brisant une fenêtre de 2 m de large et 1,5 m de haut, alimentera un feu de 4.7 à 5.5 MW.

Par conséquent, la ventilation doit être traitée avec beaucoup d'attention dès lors que le feu est sous-ventilé. Le taux de dégagement de chaleur de l'incendie sera toujours augmenté après qu'une ouverture ait été réalisée. Les pompiers aux États-Unis sont de plus en plus conscients de cela. Entre autres choses, elle a conduit à l'introduction d'un «homme de porte". Ce pompier a pour mission de garder le contrôle de la porte en la maintenant fermée autant que possible. En appliquant ce principe, le taux de dégagement de chaleur de l'incendie est limité.

## **2 Efficacité des exutoires (sortants)**

Une autre question importante qui se pose est celle de la taille des ouvertures de ventilation. Beaucoup a été écrit sur ce sujet dans la littérature traitant de la lutte contre les incendies. Aux États-Unis un exutoire de 4 par 4 pieds (1,2 m par 1,2 m) a longtemps été considéré comme étant « la norme ». Soit un trou de 1,44 m<sup>2</sup>. Récemment, il a été

suggéré que ce ne soit plus assez grand. Une ouverture de 4 par 8 pieds est plus souvent utilisée de nos jours. Cela équivaut à 2,88 m<sup>2</sup>.

En Europe la création d'exutoires au toit n'est pas une pratique courante. Habituellement, soit nous laissons la porte ouverte, soit nous cassons les fenêtres. Dans ce cas, la taille de l'exutoire est imposée par la dimension des fenêtres existantes. Il est préférable d'ouvrir les fenêtres plutôt que d'en casser les vitres. Une fenêtre ouverte et qui conduirait à un flux ventilation indésirable, peut généralement être fermée à nouveau. Cela n'est pas aussi facile une fois que les vitres ont été brisées.

En veillant à ce que l'entrant et le sortant soit placés dans un rapport de surface donné, la ventilation peut être effectuée de la façon la plus optimale possible. Pour ce rapport optimal, le débit le plus élevé possible pourra être obtenu pour une ouverture donnée.

Pour déterminer ce rapport « idéale », une distinction doit être faite entre la ventilation faite par pression positive et la ventilation naturelle. Les paragraphes suivants se rapportent à des situations où une ouverture est complètement utilisée comme « entrant » et une autre ouverture est complètement utilisée comme « sortant ». Ceci est généralement le cas pour la ventilation verticale. Dans la pratique, la ventilation horizontale devient rapidement plus complexe. Une grande partie du temps, les ouvertures sont utilisées dans deux directions. Chaque ouverture étant traversée par un flux à double sens (sortie de gaz chauds par le haut et entrée d'air frais par le bas). Il est impossible de simplifier ce phénomène particulier. Nous allons donc garder les choses simples dans les sections suivantes.

## 2.1 Ventilation naturelle.

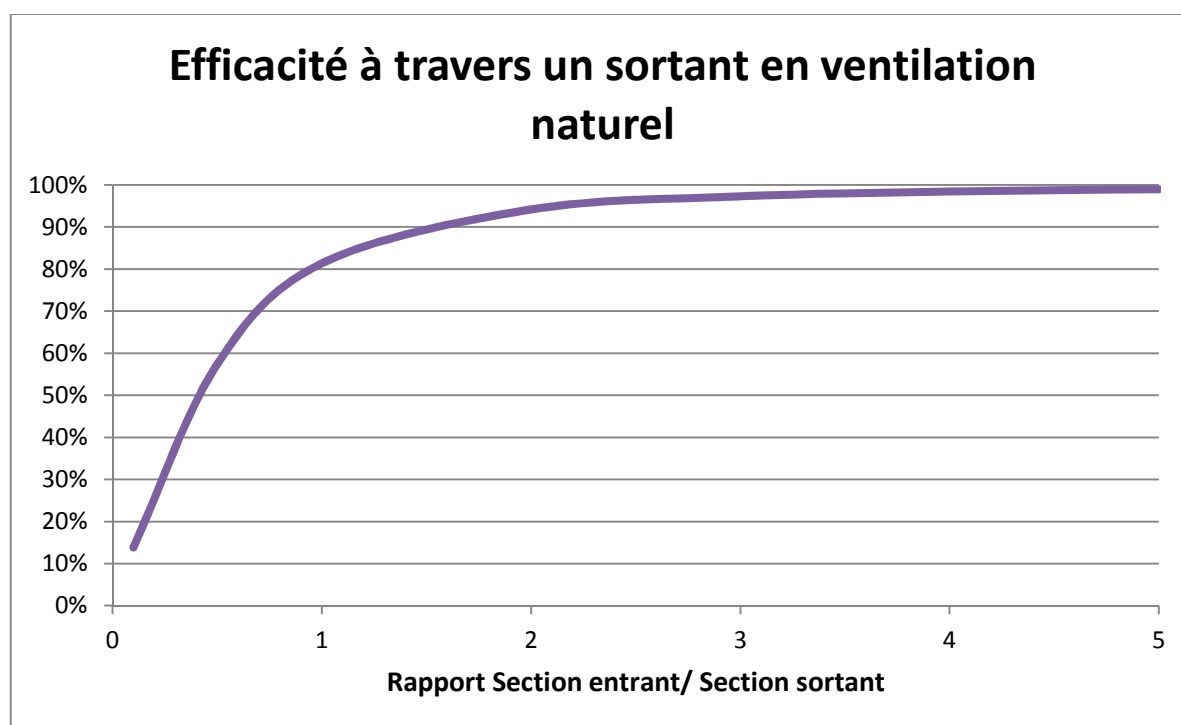
Ventilation signifie essentiellement transport d'une masse de fumée de l'intérieur vers l'extérieur. Parce qu'il est impossible de créer du vide, cette masse de fumée doit être remplacée par une masse égale de l'air. Dans le cas de la ventilation naturelle, la fumée sort du bâtiment en raison de sa flottabilité. Cette force vers le haut est le résultat de la différence de densité ( $\sim$  température) entre l'air et la fumée. Pour que la ventilation fonctionne correctement, suffisamment d'air frais doit circuler dans le bâtiment. La recherche a montré qu'une efficacité d'environ 90% est obtenue dès lors que l'entrant à une section deux fois supérieure au sortant pour n'importe quel sortant donné. L'efficacité est réduite à 80% lorsque l'entrant et le sortant ont la même dimension (voir la figure 3).

Un exemple numérique pourrait éclaircir les choses. Supposons qu'il faille ventiler une pièce qui a une porte (largeur x hauteur : 1 x 2 m) et quatre fenêtres de 1 m<sup>2</sup> chacune. Supposons que la température de la fumée soit de 300°C.

Si une fenêtre est ouverte pour servir de sortant et que la porte d'entrée joue le rôle d'entrant, nous avons un rapport entrée / sortie égal à deux. Cela conduit à une efficacité de 94% (par rapport à la capacité maximale d'écoulement théorique) à travers ce sortant. Chaque seconde, 2,67 kg de fumée seront évacuées du bâtiment.

Si une deuxième fenêtre est ouverte, le ratio d'entrée / sortie passe à 1. L'efficacité obtenue pour chaque sortant considérée individuellement va chuter à 81%. Cependant, la surface totale des sortants est doublée. Cela signifie que 1,62 fois la capacité théorique

maximale d'une fenêtre sera atteinte. Ce qui est mieux que les 0,94 fois, obtenue dans le cas d'une fenêtre seule. En effet, 4,81 kg de fumée sera évacué chaque seconde.



**Figure 3** Efficience des débits en fonction du rapport entrant / sortant pour une fumée dont la température est de 300 °C en ventilation naturelle. Lorsque l'entrant à une dimension deux fois supérieure au sortant, l'efficiency est de 94%. Lorsque l'entrant à la même dimension que le sortant, l'efficiency est réduite à 81%.

Lorsque les quatre fenêtres sont ouvertes, le ratio d'entrée / sortie tombe à 0,5. L'efficacité pour chaque fenêtre considérée individuellement passe alors à 57%. Cependant, il y a maintenant quatre fenêtres ouvertes. Cela signifie que 2,28 fois la capacité théorique d'une seule fenêtre sera atteinte. Pour cet exemple, il en résulte que 7,26 kg / s de fumée sera évacué du bâtiment. Quand plus de fenêtres sont ouvertes, l'efficacité par fenêtre continuera de diminuer. Dès lors que la surface du ou des sortants devient égale à trois fois la taille de l'entrant, l'ouverture de fenêtres supplémentaires devient inutile.

En résumé, on peut dire que le rapport entrant / sortant de 2/1 pour une seule ouverture donne la plus grande efficacité. L'ouverture de plusieurs fenêtres conduit à une efficacité inférieure par fenêtre, mais également à un écoulement d'évacuation totale plus important. Quand un rapport de 1/3 a été atteint, il n'est pas utile d'ouvrir d'autres fenêtres supplémentaires. Il est important de garder à l'esprit que ceci est valable pour la ventilation verticale. La porte est complètement en dessous de la couche de fumée et les fenêtres sont au-dessus du plan neutre. Les fenêtres sont complètement utilisés comme exutoire.

## 2.2 Ventilation par pression positive

Dans le cas d'une ventilation par pression positive, le rapport entrant / sortant permettant d'obtenir un débit optimal est différent. Le rapport est opposé à celui utilisé en ventilation naturel. En d'autres termes, pour un débit optimal le sortant doit être deux fois supérieur à l'entrant. Dans l'exemple ci-dessus, cela signifie que l'efficacité optimale serait obtenue dans le cas où les quatre fenêtres sont ouvertes.



Veillez à avoir un rapport entrant / sortant de 1/2. Le **Figure 4** Positionnement de deux ventilateurs en « V ». (Photo: Frank Meurisse)

Le débit n'est plus créé par la différence de température entre les fumées et l'air, mais est forcé par le ventilateur. Là encore, il est possible d'améliorer l'effet de la ventilation en ouvrant plus de fenêtres. Tout comme pour la ventilation naturelle, il est inutile de viser un ratio inférieur à 1/3.

## 3 Le vent

Dans la section ci-dessus, nous avons examiné l'efficacité du débit par une ouverture unique sans tenir compte des conditions locales. En réalité, ce n'est pas une façon correcte de faire les choses. Avant de créer les exutoires, nous devons vérifier qu'il n'y ait pas de vent, et, le cas échéant la direction dans laquelle il souffle.

Dans le cas de la ventilation naturelle, le vent aura une grande influence. Il est donc impératif de toujours essayer de ventiler "avec le vent". Cela signifie que l'entrée doit être créée sur la face sur laquelle le vent souffle (Face au vent). L'exutoire quant à lui sera de préférence sur la face opposée (sous le vent). De même, lorsque l'exutoire est fait sur un toit incliné, il est préférable de suivre cette règle. Lorsque c'est impossible de faire cela, il faut essayer d'obtenir la plus grande efficacité pour un seul sortant. (voir ci-dessus).

La ventilation par pression positive est une action qui est moins dépendante du vent. Ventiler contre le vent peut être tenté avec certaines limites. Dans de telles situations le sortant peut être de petite taille. Cela conduira à obtenir une plus grande surpression à l'intérieur du bâtiment. Pour des vents faibles cela peut être suffisant pour prendre le dessus sur la pression induit par le vent. Cela peut être utile dans les situations où il est impossible de créer des ouvertures sur les faces du bâtiment placées sous le vent. Cependant, il est important de réaliser que cette option est très limitée. La recherche a montré que les ventilateurs de VPP qui équipent couramment les engins incendie, peuvent produire une surpression de 26 Pascal. Ceci est à peu près égal à la pression générée par

un vent de 20 km/h. Ventilé mécaniquement face au vent ne fonctionne qu'avec des vitesses de vent très faible. Plusieurs sources mentionnent un seuil de 10 km/h. Pour des vitesses de vent plus faible que cela, ventiler contre le vent est efficace. Au-dessus de cette vitesse, l'efficacité diminue très rapidement.

#### 4 Références

- [1] *Lambert Karel, Nouveaux concepts relatifs à la ventilation, De brandweerman, May 2011*
- [2] *Hartin Ed, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)*
- [3] *Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*
- [4] *Kerber Steve, Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes, Fire Technology, vol. 48, p 865-891, 2012*
- [5] *Merci Bart, Active fire protection II: smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent, 2010*
- [6] *Svensson Stefan, Fire Ventilation, Swedish Rescue Services Agency, 2000*
- [7] *Christian Gryspeert, personal communication, 2014*
- [8] *Kerber Steve, Madrzykowski Dan & Stroup David, Evaluating positive pressure ventilation in large structures: high-rise pressure experiments, NISTIR 7412, Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2007*

Karel Lambert