

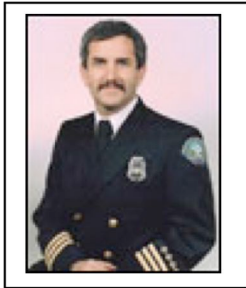
# LA COMBUSTION DES FUMÉES

Dernière mise à jour : 22 février 2003

Source : firehouse.com

Article en V.O. : <http://cms.firehouse.com/content/article/article.jsp?sectionId=14&id=46031>

Traduction : Franck GAVIOT-BLANC pour <http://www.flashover.fr>



**EDWARD HARTIN**

Firehouse.com Contributor

Les sapeurs-pompiers ont tendance à se focaliser sur la partie visible du feu (comme un papillon avec une bougie). La fumée est toxique et perturbe la vision, mais n'est-elle qu'une faible menace pour un sapeur-pompier portant des vêtements de protection et un appareil respiratoire autonome (ARI)?

## La fumée

La fumée, c'est le produit visible d'une combustion incomplète. Mais qu'est-ce exactement ? La fumée est un aérosol complexe. Un aérosol est un mélange d'un gaz et/ou d'une vapeur et de particules liquides ou solides. Les constituants clés de la fumée incluent des gaz comme le monoxyde de carbone et le cyanure d'hydrogène, le formaldéhyde et la vapeur de benzène, les particules de carbone et les produits imbrûlés issus de la pyrolyse.



Fig 1. CFBT dans une habitation

Comment des gaz inflammables et des vapeurs peuvent-ils exister à l'intérieur d'un compartiment en feu ? Pourquoi le feu ne les consomme-t-il (brûle) pas ? La réponse à ces questions nous renvoi au triangle de feu. La combustion exige un combustible, de l'oxygène et de la chaleur en proportion correcte. Le combustible et l'oxygène doivent être dans la fourchette d'explosibilité ou d'inflammabilité pour que la combustion puisse se produire (voir la Figure 2)

La limite inférieure d'explosibilité ou d'inflammabilité (LIE/LII), c'est la concentration minimale de vapeur combustible dans l'air qui entretiendra la combustion. Au-dessous de ce niveau, le combustible est en quantité insuffisante pour que la combustion se produise.

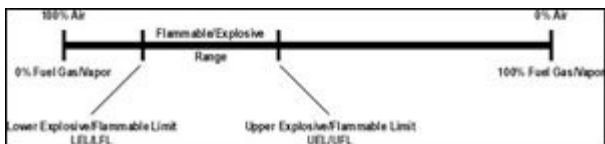


Fig 2: Limite d'explosivité et inflammabilité

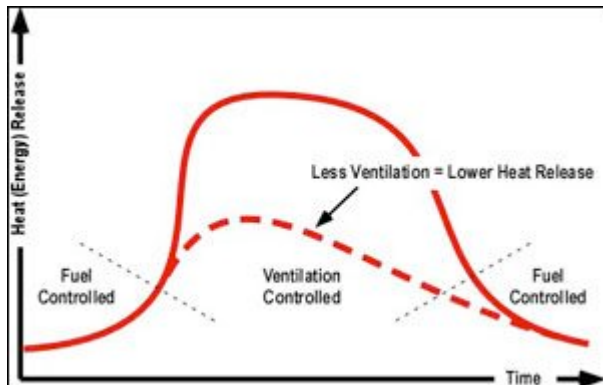
La limite supérieure d'explosibilité ou d'inflammabilité (LSE/LSI), c'est la concentration la plus importante de gaz combustible ou de vapeur dans l'air qui entretiendra la combustion. Au-dessus de ce niveau, l'oxygène est insuffisant pour soutenir la combustion. La plage d'inflammabilité se trouve entre le LIE/LII et LSE/LSI.

Pendant la phase naissante d'un feu de compartiment, l'oxygène nécessaire est disponible et le développement du feu est principalement limité par les caractéristiques du combustible et par la

configuration. Le feu se développant consomme la plupart des produits pyrolysés dégagés par les combustibles solides.

Cependant comme la concentration d'oxygène du compartiment baisse, les produits issus de la pyrolyse qui ne sont pas consommés par le feu (l'excès des gaz de pyrolyse) et les produits inflammables issus de la combustion incomplète (c'est-à-dire le monoxyde de carbone) commencent à s'accumuler dans le local.

A un certain moment dans le processus de combustion à l'intérieur d'un compartiment fermé ou avec une ventilation limitée, le feu sera limité dans sa croissance par la quantité d'oxygène disponible. A cet instant, le taux de dégagement de chaleur se stabilisera et si la ventilation est extrêmement limitée, il diminuera comme illustré dans la Figure 3.



**Fig 3: Développement d'un feu sous-ventilé**

Il est important de faire remarquer que l'exemple de la figure 3 illustre une transition entre un feu contrôlé par le combustible et un feu contrôlé par la ventilation, avant le flashover : tout dépend du profil de ventilation du compartiment. Dans d'autres cas, le feu peut atteindre le flashover dans le compartiment d'origine avant de devenir significativement contrôlé par la ventilation. Bien que le taux de dégagement de chaleur ralentit quand le feu devient « contrôlé par la ventilation », la température dans le compartiment peut rester importante. Le rayonnement et la chaleur de convection du feu peuvent avoir pour conséquence la poursuite de la pyrolyse et donc une accumulation plus importante des produits qui en sont issus et des produits inflammables, à l'intérieur du compartiment.

Lors d'un après-midi d'été en 2005 les Services d'Urgence et d'Incendie de Gresham sont intervenus sur un feu dans un mobile home. En arrivant, la fumée sortait des fenêtres sur les faces Alpha et Bravo de la structure, à vitesse modérée. Les fenêtres étaient noircies et souillées par la concentration des résidus de pyrolyse. Après s'être engagée au travers d'une embrasure de porte sur la face Bravo, la première équipe d'attaque a rencontré peu de combustion avec flamme, mais une chaleur importante. Une rapide application d'eau pour rafraîchir la couche chaude de gaz et l'attaque directe sur le combustible ont rapidement éteint le feu.

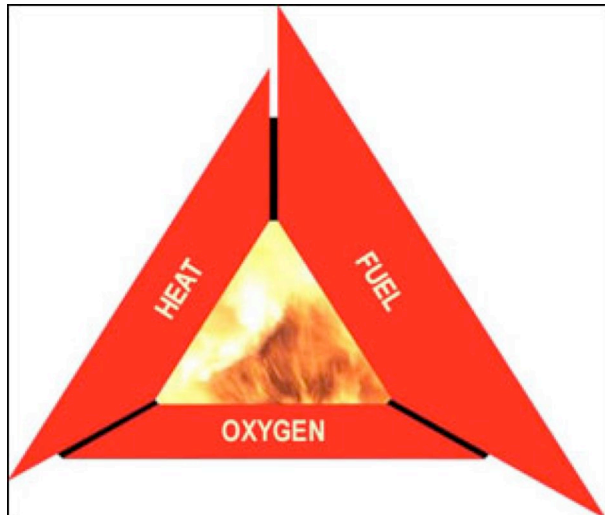
Toutefois, l'examen de la structure et de son contenu (une fois le feu éteint) a montré l'importance du rayonnement et la chaleur de convection dans un feu contrôlé par la ventilation (voir la Fig. 4). Même avec une ventilation limitée et un développement du feu ralenti, la température est importante dans le compartiment.

Notez le plastique fondu sur le micro-ondes juste à gauche, au centre de la photo ainsi que la pyrolyse et le noircissement de la partie supérieure de la chaise et du divan. Quand les sapeurs-pompiers sont arrivés, cette résidence était pleine de fumées combustibles. La seule chose manquante était une source d'air.



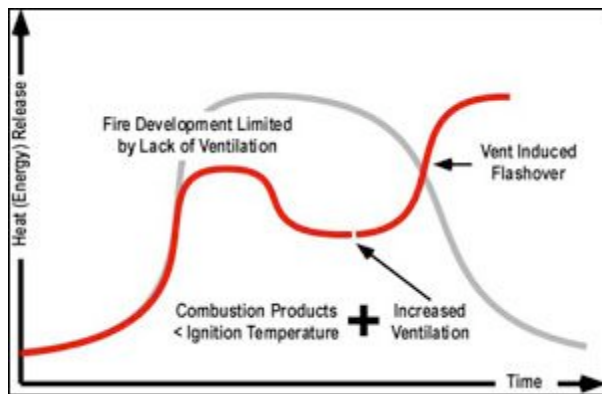
**Fig 4: Photo de Ron Cook, Gresham Fire Deputy Fire Marshal**

La plupart des feux qui progressent au-delà de la phase naissante, sont contrôlés par la ventilation, au moment de l'arrivée des sapeurs-pompier. Cela signifie que si le profil de ventilation change en provoquant une augmentation de la ventilation (par exemple, une fenêtre se brise ou les sapeurs-pompier font une ouverture pour la ventilation et/ou pour l'accès), le feu augmentera d'intensité.

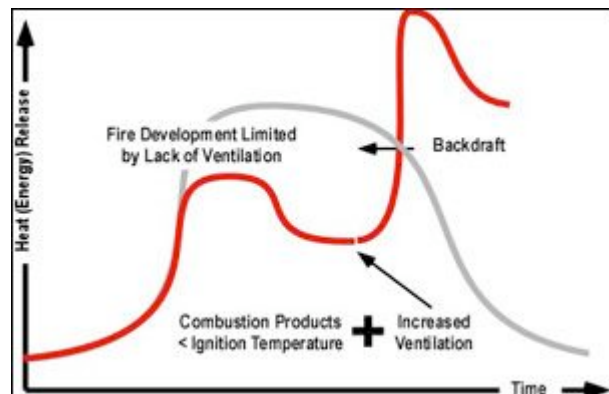


**Fig 5: Triangle du feu riche en combustible**

*NdT*: le document sur l'impact du froid sur les phénomènes thermiques, disponible sur [flashover.fr](http://flashover.fr), traite également de ce point.



**Fig 6: Flashover induit par la ventilation**



**Fig 7: Backdraft**

### Dangers des feux contrôlés par la ventilation

Une situation de feu contrôlé par la ventilation, une production excessive de gaz de pyrolyse et la présence dans les fumées de produits inflammables issus de la combustion, sont des dangers significatifs pour les sapeurs-pompier. Revenons au triangle de feu (*Fig 5*) pour étudier la nature de cette menace. Alors que le combustible, la chaleur et l'oxygène sont présents dans des proportions permettant d'entretenir une combustion vive, la chaleur de combustion pyrolyse plus de vapeur de combustible que le feu ne peut en consommer. De plus, la combustion incomplète aboutit à la production de gaz inflammables comme le monoxyde de carbone. La vitesse de développement du feu est alors limitée par la disponibilité en oxygène atmosphérique fourni par le profil de ventilation du local ou de la construction.

Les sapeurs-pompier pensent généralement de la ventilation qu'elle est une sécurité pour la vie, une stratégie de contrôle du feu ou en termes de tactiques spécifiques, qu'elle est utilisée pour mettre en oeuvre ces stratégies (*NdT*: *VPP*). Cependant, les constructions sont toujours ventilées (à un endroit ou un autre). Si ce n'était pas le cas, les occupants pourraient consommer l'oxygène atmosphérique et rendre l'espace inhabitable. La ventilation, c'est l'échange entre l'atmosphère intérieure de la structure et l'air extérieur. Le terme « profil de ventilation » fait référence à la ventilation réelle et potentielle d'une structure en fonction des ouvertures structurelles, des méthodes de construction et des systèmes de ventilation de construction au moment présent (avant ou pendant les conditions de feu).

Lors d'un feu, le profil de ventilation peut changer de différentes façons. Le feu peut engendrer des dégâts sur les structures elles-mêmes, comme le bris d'un vitrage de fenêtre, augmentant ainsi la ventilation. Les occupants quittant la structure peuvent fermer les portes (réduction de la ventilation) ou les laisser ouvertes (augmentation de la ventilation). Ces changements sont appelés « ventilation non planifiée ». Les sapeurs-pompier peuvent aussi influencer la ventilation simplement par une

entrée (ouvrir une porte d'accès crée une ouverture de ventilation !) ou par une action tactique spécifique destinée à changer le profil de ventilation. Quand la ventilation est modifiée intentionnellement dans le cadre d'une action planifiée, c'est de la ventilation tactique.

Quand un feu de compartiment est contrôlé par la ventilation, qu'arrive-t-il lorsque le profil de ventilation change ? A ce stade, la fumée contient une grande quantité de gaz de pyrolyse non brûlés et de produits inflammables issus de la combustion incomplète, comme illustré dans la Figure 5. La ventilation accrue fournit l'oxygène nécessaire à l'augmentation du développement du feu et à son extension rapide à tout le combustible aisément disponible dans les fumées. Cela peut mener à un des deux phénomènes extrême de comportement du feu : le flashover déclenché par la ventilation ou le backdraft.

*Ndt : cette augmentation du comburant aura un impact d'autant plus grand qu'à ce stade le combustible principalement présent est gazeux. C'est donc un combustible dans lequel la propagation d'un front de flamme pourra se faire de façon très rapide.*

Dans un backdraft la fumée à une température supérieure à son point d'ignition et a simplement besoin de suffisamment d'air pour entrer dans la plage d'inflammabilité pour que l'ignition se produise. Si la fumée n'est pas au-dessus de sa température d'ignition, une source externe de chaleur est nécessaire. Dans ce cas un accroissement de la ventilation permet une rapide augmentation de la combustion et la transition à un feu entièrement développé (Flashover). Ce processus de ventilation induit le flashover comme illustré dans la Figure 6.

Il est important de noter que ce n'est pas un backdraft. Dans un backdraft les gaz et vapeurs combustibles dans la fumée sont au-dessus de leur température d'ignition et le taux de combustion est généralement beaucoup plus rapide (déflagration) produisant une réaction plus violente comme illustré (voir la Figure 7).

*Ndt : le document « Anatomie d'un backdraft » (disponible sur [flashover.fr](http://flashover.fr)) éclaire ce point en indiquant qu'il faut généralement une source d'ignition assez puissante pour embraser les fumées. Cette obligation explique les délais parfois très longs entre les ouvertures de portes et le déclenchement des explosions, ce délai étant dû au temps nécessaire pour que les braises redonnent des flammes, donc des « points d'ignitions » assez puissants pour enclencher le phénomène. Bien qu'Ed Hartin indique que le backdraft ne serait réel (étymologiquement parlant) qu'en cas d'auto-inflammation des fumées, dans la réalité ce cas semble assez rare, le déclenchement se produisant majoritairement par un point d'ignition.*

Bien que ces deux phénomènes soient différents, les deux présentent une menace significative pour les sapeurs-pompiers. La progression rapide du feu en raison de la ventilation induisant un flashover ou un backdraft n'est pas un processus instantané. En fonction d'un certain nombre de variables comme l'emplacement du feu, le combustible impliqué, la température de la couche de fumée (gaz chauds) et l'importance de l'augmentation de la ventilation, ces phénomènes de progression rapide du feu peuvent mettre un peu de temps à se produire. Cependant, quand cela se déclenche, le développement du feu est extrêmement rapide! Les sapeurs-pompiers entrant dans un compartiment ou un bâtiment contenant un feu sous ventilé doivent être conscients des dangers potentiels présentés par la progression rapide du feu et doivent être aptes à les gérer.

Souvenez-vous : beaucoup, pour ne pas dire pratiquement tous les feux qui n'ont pas progressé au-delà de la phase naissante avant l'arrivée des sapeurs-pompiers, sont des feux à ventilation contrôlée, qui présentent donc un potentiel pour une progression rapide du feu lorsque la ventilation sera accrue.

### **La maîtrise du danger**

Un des dangers principaux présenté par les feux contrôlés par la ventilation est le risque de progression rapide du feu quand la ventilation est augmentée par les sapeurs-pompiers qui pénètrent pour les opérations d'extinction et de recherche. L'identification de ce danger est seulement la première étape permettant de réduire le risque pour les sapeurs-pompiers durant les opérations de lutte contre l'incendie. L'extinction du feu réduit la menace pour les sapeurs-pompiers et les occupants du bâtiments. Cependant, cela exige généralement d'entrer dans le bâtiment et de localiser le feu. Quand la fumée chaude est surchauffée, c'est une opération à haut risque. Deux stratégies de base sont utilisées pour contrôler le risque présenté par des opérations qui se dérouleront sous une couche de fumées chaudes et riches en combustible : le refroidissement de la couche de gaz chaud pour empêcher l'ignition et la ventilation pour extraire les fumées du compartiment ou du bâtiment.

D'autres articles auront pour sujet les indicateurs (signes) relatifs au potentiel d'un comportement extrême du feu, l'utilisation du refroidissement des gaz et la ventilation pour contrôler l'environnement du feu afin d'augmenter la sécurité des occupants et des sapeurs-pompiers.

### **Etudes et sujets de discussion**

La lecture du comportement du feu est souvent plus compliquée qu'il n'y paraît au premier abord. Résistez à la tentation de broser des explications trop simples ou élémentaires, ou plus détaillées mais trop complexes. Faire le rapport entre la théorie et votre expérience personnelle ou les expériences d'autres personnes est une bonne façon d'apprendre. Utilisez ces interrogations pour focaliser votre attention sur le lien entre les explications théoriques et les incidents auxquels vous, ou votre équipe, avez été confrontés.

1. Quels signes pourraient indiquer que le feu est contrôlé par la ventilation ? Pensez aux signes du feu que vous pourriez observer de l'extérieur aussi bien que ceux qui pourraient être rencontrés à l'intérieur d'une structure sinistrée.

2. Que doit-il se passer pour que le feu enflamme la fumée, riche en combustible, placée au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité (trop de combustible et pas assez d'oxygène) ? Comment cela peut-il se produire pendant les opérations de lutte contre l'incendie ?

### **Activité d'application**

À votre prochain feu, prenez quelques minutes après que le feu ait été éteint pour étudier la construction et son contenu. Mettez en évidence la présence de pyrolyse (recherchez le plastique fondu et les matières partiellement carbonisées). Quelles conditions de fumée avez-vous rencontrées en entrant ? Pensez-vous que des gaz de pyrolyse en excès étaient présents dans la couche de fumée chaude ? Comment le comportement du feu a-t-il évolué après que vous soyez entré ou ayez provoqué la ventilation ? Pourquoi... ou pourquoi pas ?

\*/\*