Comportement du feu dans plusieurs pièces

1 Introduction

Tous les pompiers connaissent la courbe de développement du feu de la figure 1. Cette courbe décrit la manière dont un incendie peut se comporter à l'intérieur d'un bâtiment. Pour que cette courbe se manifeste, plusieurs conditions doivent être réunies :

- Il doit y avoir assez de combustible dans la pièce.
- La charge combustible doit être positionnée de telle sorte qu'un incendie puisse se développer, dont le taux de dégagement de chaleur qui doit dépasser la limite nécessaire pour que l'embrasement se produise dans la pièce.
- Une quantité suffisante d'air (ventilation) doit être disponible pour permettre au feu d'atteindre ce taux de dégagement de chaleur.

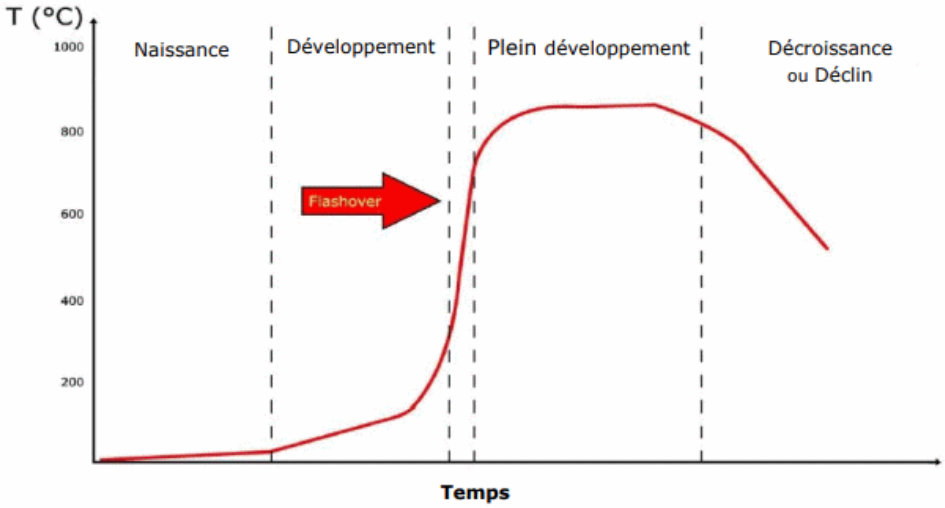

figure 1 La courbe de croissance du feu ventilé *(Figure : Karel Lambert)*

Tous les pompiers ne comprennent pas que cette courbe illustre l'évolution de la température en fonction du temps, alors qu'il s'agit en fait du taux de dégagement de chaleur dans les conditions décrites ci-dessus. L'article *La courbe du feu revisitée* présente le feu sous la forme d'un graphique 'temps-puissance' [2]. L'article examine l'impact de différentes variations (ventilation, charge de combustible) sur la puissance.

Cette courbe ne concerne que l'incendie d'un seul compartiment. *Alors comment un feu se comporte-t-il et se développe-t-il lorsqu'il y a plusieurs compartiments impliqués ?*

Dans cet article, nous examinons de plus près le comportement du feu dans plusieurs pièces. L'article ne sera pas exhaustif, et n'a pas l'intention de l'être. L'accent est mis sur un incendie qui démarre dans une pièce et se propage à travers une porte vers une deuxième pièce.

2 La fumée est ce dont il s'agit

Tout incendie produit de la fumée. La fumée est cruciale pour la propagation de l'incendie car la fumée elle-même propage trois choses importantes pour les équipes de lutte contre l'incendie :

1. Diffusion de l'énergie
2. Propagation du combustible
3. Propagation de la toxicité

La section ci-dessous traite plus en détail de la propagation de la fumée et de ses conséquences.

2.1 Propagation de la fumée

Un incendie produit de la fumée. La fumée est constituée de particules de suie, d'aérosols et de gaz. Toutefois, pour la plus grande partie, la fumée est constituée d'air. *Comment cela se passe-t-il en réalité ?*

La fumée est produite au siège du feu. Une grande partie de l'énergie (la chaleur) libérée par le feu est utilisée pour réchauffer la fumée. La puissance du feu joue donc un rôle important dans la propagation de la fumée : plus la puissance est élevée, plus le feu a la "force" de repousser la fumée loin de lui, pour ainsi dire. La température initiale de la fumée dépend de la quantité d'air qui peut circuler sur le foyer de l'incendie. La taille du contour du feu est importante ici. Plus le contour est grand, plus l'air peut entrer. Si la puissance reste constante, la température de la fumée s'élevant d'un feu plus large sera plus basse.

La fumée étant plus chaude que l'air ambiant, elle s'élève vers le haut. L'effet qui provoque ce phénomène est le même que celui qui fait monter une montgolfière : l'air chaud monte. Cependant, dans une montgolfière, l'air est emprisonné à l'intérieur du ballon. Il ne peut pas se mélanger à l'air extérieur plus froid.

La fumée diffère quelque peu à cet égard. La fumée monte et, à mesure qu'elle s'élève, l'air se mélange de plus en plus au panache de fumée. Plusieurs phénomènes se produisent alors :

- La température de la fumée diminue. La fumée chaude qui est partie du feu se mélange à l'air environnant plus froid.
- La différence de température avec l'air environnant diminue également, et la fumée s'élève moins vite qu'auparavant.
- La masse de la fumée augmente également. En effet, une grande partie de l'air a été mélangée à la fumée.

La température de la fumée, la vitesse à laquelle elle s'élève et la masse de la fumée changent toutes à mesure qu'elle s'élève (voir figure 2).

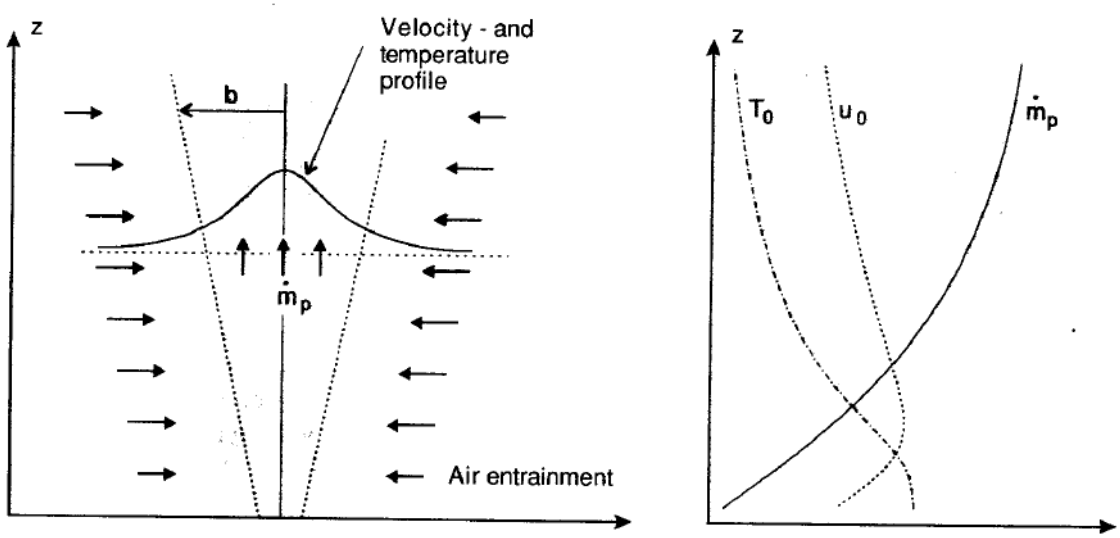

figure 2 Schéma décrivant un panache de fumée. Au fur et à mesure que le panache de fumée s'élève, il s'élargit. La température et la vitesse sont maximales au milieu et diminuent vers l'extérieur du panache. La température (T) et la vitesse (u) diminuent à mesure que la fumée s'élève. La masse (m) augmente. (Figure : [7])

Chaque pompier sait qu'un incendie dans une pièce produit d'abord un panache de fumée, puis une couche de fumée. Le panache de fumée atteint le plafond, après quoi il se répand horizontalement. La fumée continuera à se propager jusqu'à ce qu'elle atteigne un mur. Les murs et le plafond de la pièce limitent la couche de fumée. La couche de fumée va alors s'épaissir (= se dilater et descendre).

Cela entraîne ensuite une diminution de la distance verticale parcourue par le panache de fumée, du foyer de l'incendie à la couche de fumée. Cela signifie qu'une quantité moindre d'air peut être mélangée au panache de fumée ascendant. Cela signifie à son tour que le panache de fumée se refroidit moins qu'auparavant et que de la fumée à température plus élevée s'écoule dans la couche de fumée.

La hauteur du plafond de la pièce joue donc un rôle important dans tout cela. Dans un entrepôt de 8 mètres de haut, le panache de fumée se refroidira sur cette distance avant d'entrer dans la couche de fumée. Par ailleurs, l'épaisseur de la couche de fumée est déterminée par la surface du compartiment. La surface dicte en partie la quantité de fumée qui peut être stockée dans la couche de fumée. Un compartiment plus grand mettra plus de temps à former une couche de fumée d'un mètre d'épaisseur. Un compartiment grand et haut forme une sorte de tampon pour la fumée pour ainsi dire.

Ce qui est également important ici, ce sont les ouvertures dans les murs. S'il y a une fenêtre ouverte, la fumée commencera à s'échapper dès que la couche de fumée atteindra le haut de la fenêtre. À partir de ce moment-là, la fumée va à la fois entrer dans la couche de fumée (à partir du panache) et sortir de la pièce (par la fenêtre). Lorsque cela se produit, il y a - théoriquement - trois possibilités :

1. Il y a plus de fumée qui entre dans la couche de fumée qui en sort. La couche de fumée va continuer à baisser.

2. La fumée s'échappe exactement au même rythme qu'elle entre. La hauteur de la couche de fumée reste la même.

3. Il y a moins de fumée qui entre que de fumée qui sort. La taille de la couche de fumée diminue. Cela peut se produire, par exemple, lorsque les évents de fumée dans le plafond sont ouverts lors d'un incendie contrôlé par le combustible.

Il existe donc un certain nombre de paramètres qui déterminent le comportement du panache et de la couche de fumée :

- La puissance de l'incendie
- La circonférence (taille du contour) du feu
- La hauteur de la pièce
- La surface de la pièce
- La présence d'ouvertures

Le feu constitue un système très complexe dans lequel tout est en constante évolution.

Le panache de fumée forme un pont entre le foyer de l'incendie et la couche de fumée. À travers le panache de fumée, le combustible, l'énergie et les particules toxiques s'écoulent dans la couche de fumée.

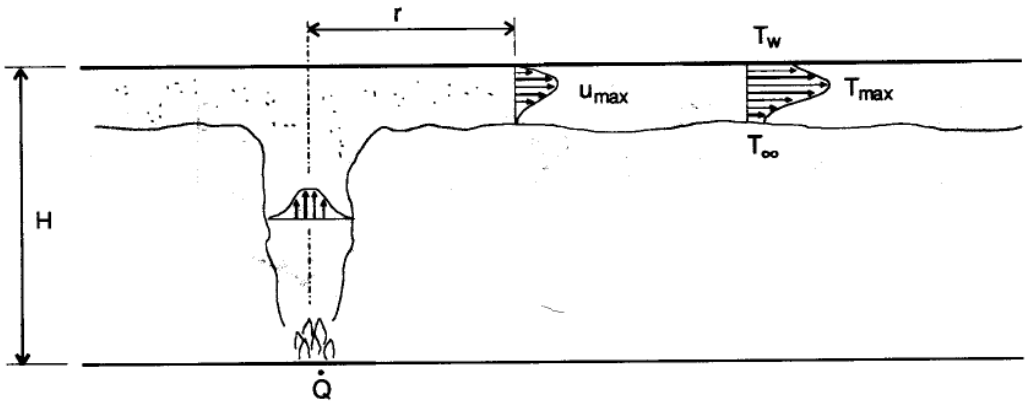

FIGURE 4.17 An idealization of the ceiling jet flow beneath a ceiling.

figure 3 Illustration d'un panache de fumée s'écoulant dans la couche de fumée. Un flux au plafond se forme dans la couche de fumée. Le flux est divisé en sections avec différentes vitesses d'écoulement (u) et différentes températures (T). Les deux augmentent lorsque la puissance de l'incendie augmente. Les deux vont diminuer lorsque la pièce est plus haute. *(Figure : [7])*

La couche de fumée est en contact des murs et du plafond. Au début de l'incendie, l'intérieur des murs a, à peu près, la même température que l'environnement intérieur. Dès que les murs entrent en contact avec la fumée chaude, ils commencent bien sûr à se réchauffer eux-mêmes. Une partie de l'énergie contenue dans la couche de fumée est transférée aux murs.

Dès que la couche de fumée descend en dessous de l'extrémité supérieure d'une ouverture de porte reliant un compartiment voisin, la fumée commencera à s'écouler dans cette deuxième pièce. Ce flux provoquera un déplacement d'énergie, de combustible et de toxicité.

2.2 Répartition de l'énergie

La fumée qui s'écoule par la porte communicante remonte jusqu'au plafond. Toutes les remarques faites concernant l'accumulation de la couche de fumée (épaisseur, température) dans la première pièce, s'appliquent à nouveau à la deuxième pièce.

Cette couche de fumée constitue toutefois une menace importante pour tout le monde et pour tout ce qui se trouve dans cette deuxième pièce. La couche de fumée va transférer de l'énergie sur tous les objets et occupants dont la température est inférieure à celle de la couche de fumée.

Tout comme dans la pièce initiale, la couche de fumée rayonnera de la chaleur sur tout ce qui se trouve en dessous. Cette chaleur rayonnante peut être assez élevée lorsque la température de la couche de fumée est également élevée. Si la quantité de rayonnement est suffisamment élevée, les objets situés sous la couche de fumée commencent à un moment donné à se pyrolyser. Cela signifie que la couche de fumée provoque la formation de gaz inflammables dans la deuxième pièce.

Une attention particulière doit être accordée aux revêtements inflammables des murs et des plafonds. Le plafond est directement en contact avec la couche de fumée chaude. La fumée va chauffer le plafond par convection. Il s'agit d'une méthode de transfert de chaleur différente de celle du rayonnement. La convection nécessite un contact direct entre la fumée et l'objet plus froid. Ainsi, si la fumée touche le plafond inflammable (bois ou isolation inflammable), des gaz inflammables peuvent également s'y former. La pyrolyse d'un meuble sous une couche de fumée peut éventuellement être encore visible pour les pompiers à l'intérieur de la pièce, mais pas la production de gaz inflammables dans la couche de fumée. Elle est donc beaucoup plus dangereuse.

Finalement, la chaleur de la couche de fumée pourrait provoquer une inflammation dans la deuxième pièce. À partir de ce point, un deuxième embrasement éclair suivra bientôt. Cependant, le deuxième embrasement se produira dans la deuxième pièce et non dans la première. On considère que le feu s'est propagé et qu'il peut encore se propager.

2.3 Propagation du combustible

Le combustible sous forme gazeuse s'écoule dans la deuxième pièce par l'ouverture de la porte. Jusqu'à ce moment-là, la pièce était remplie d'air à 100 %. Maintenant, des particules de combustible (gaz de pyrolyse et aussi des gaz partiellement brûlés comme le CO) s'écoulent dans la pièce. Une couche de fumée se forme au plafond. Celle-ci doit être considérée comme un réservoir de combustible gazeux. Si des objets commencent à pyrolyser dans la deuxième pièce, les gaz formés se retrouveront également dans cette couche de fumée.

À un moment donné, la couche de fumée, ou certaines parties de celle-ci, atteindront la limite inférieure d'inflammabilité. En fonction de la température de la couche de fumée, la fumée s'enflammera à un moment donné. Cela peut se produire de plusieurs façons :

- Flammes sortant de la première pièce par l'ouverture de la porte
- Des anges danseurs dans la couche de fumée

- Renversement dans le deuxième compartiment

Chacun de ces phénomènes a besoin de combustible pour se produire. C'est pourquoi la propagation du combustible du premier au deuxième compartiment (et la "production" de combustible dans le deuxième compartiment) est si importante.
Chacun de ces phénomènes produit localement de l'énergie. Partout où il y a des flammes, de la chaleur est libérée. La couche de fumée sera chauffée (temporairement) dans certaines parties. Cela entraînera une augmentation du transfert de chaleur (par rayonnement et convection). Il se forme un cycle auto-renforcé de diffusion d'énergie et de diffusion de combustible. Des températures plus élevées entraîneront une pyrolyse plus importante (= plus de combustible). Lorsqu'il y a suffisamment de combustible, une inflammation peut se produire, ce qui entraîne à son tour une augmentation de l'énergie.

L'article "Comment les gens meurent-ils dans les incendies ?" [9] explique que le rayonnement est proportionnel à la température absolue à la puissance quatre. Selon ce principe, les flammes (dans certaines parties de la couche de fumée) dégagent 16 fois plus de chaleur rayonnante que la fumée dont la température est de 200°C. Ainsi, lorsque certaines parties de la couche de fumée s'enflamment, le rayonnement est soudainement multiplié par 16.

2.4 Propagation de la toxicité.

Le troisième problème lié à la propagation de la fumée est la propagation de particules toxiques. Pour les pompiers, cela ne pose pas directement de problème car ils portent généralement un ARI. Même si la concentration de gaz toxiques atteint des niveaux importants, tant qu'ils ont de l'air dans la bouteille, ils peuvent respirer sans problème. Mais cela ne s'applique pas aux victimes présentes dans la pièce. Les occupants du bâtiment peuvent se trouver dans une autre pièce, mais lorsque la porte est ouverte, la fumée transfère une grande quantité de substances toxiques dans la pièce. Des études menées par UL ont montré que cela conduit très rapidement à des niveaux de toxicité mortels. Dans un logement standard, on s'attend à ce que les occupants coincés dans la pièce où se trouve le feu ne disposent que de 5 minutes.

Toutefois, lorsque ces victimes sont piégées dans une autre pièce dont la porte est fermée, le temps nécessaire pour que les conditions deviennent invivables peut atteindre trente minutes. Cela a également des implications tactiques pour les équipes de recherche et de sauvetage dans un incendie de maison : lorsqu'une équipe se trouve dans une pièce fortement enfumée (par exemple, la cuisine ou le salon), elle doit être prudente lorsqu'elle ouvre les portes. Il est tout à fait possible qu'ils ouvrent une porte du salon enfumé vers une chambre à coucher qui était jusque-là exempte de fumée. Dès que la porte est ouverte, la fumée se répand dans la chambre, où se trouve une victime potentielle encore en vie. Après tout, à l'intérieur de la chambre, il reste encore de l'air de qualité suffisante. Cela changera rapidement dès que la porte s'ouvrira et qu'il n'y aura plus de barrière pour retenir la fumée. Il est possible que les actions de l'équipe de pompiers mettent en danger la sécurité de la victime. Ce serait l'opposé de ce que la recherche et le sauvetage tentent d'atteindre.

Lorsqu'une équipe de recherche se retrouve à ouvrir la porte d'une pièce qui était jusque-là exempte de fumée, il peut être judicieux de refermer immédiatement cette porte. Les éventuels occupants de cette pièce ne sont pas en danger immédiat. Laisser les victimes

dans cette pièce, peut-être avec un pompier pour les informer et les rassurer, pourrait être une option. Dans le même temps, le feu peut être éteint et la plupart des fumées peuvent être évacuées à l'aide de ventilateurs. De cette façon, les victimes pourraient être évacuées par les pièces dans lesquelles la plupart de la fumée a été éliminée. Il est impératif que les équipes de recherche et de sauvetage communiquent clairement avec leurs commandants lorsqu'elles mettent en œuvre cette tactique.

Gardez à l'esprit qu'il ne sera pas toujours possible de garder les victimes dans un compartiment pendant une période plus longue. Parfois, il faut un certain temps avant que l'incendie puisse être maîtrisé. Dans ce cas, une plus grande quantité de fumée peut se répandre dans les pièces voisines. Même si une porte coupe-feu sépare les pièces, il y a toujours un peu de fumée qui s'infiltre. La plupart des portes coupe-feu ne sont pas totalement étanches à la fumée. Les pompiers de Bruxelles ont vécu l'expérience suivante lors d'un incendie au 12e étage d'un immeuble de grande hauteur (th). Un appartement était presque entièrement touché. Les équipes de pompiers ont été confrontées à différents problèmes (alimentation en eau défectueuse, très grande quantité de combustible dans l'appartement avec des objets bloquant partiellement la porte, ...). En raison de ces problèmes, il a fallu beaucoup de temps avant que les pompiers ne parviennent à éteindre l'incendie. De l'autre côté du couloir, au 12e étage (th), une mère était coincée dans son appartement avec quatre jeunes enfants. Le couloir était entièrement rempli d'une épaisse fumée noire. L'idée initiale était de les garder dans leur appartement et de les faire " survivre " à l'incendie. Cependant, au bout de 45 minutes, la fumée s'était tellement infiltrée qu'il a fallu les évacuer. Cette évacuation s'est faite à l'aide de masques de sauvetage (voir figure 4).

Il existe différentes sortes de masques. Certains fonctionnent à l'aide de filtres, d'autres utilisent un réservoir d'air. Lorsqu'on utilise des masques à filtre, il doit rester suffisamment d'oxygène dans la fumée pour pouvoir évacuer les personnes en toute sécurité. Cela n'est pas nécessaire lorsqu'on utilise un appareil respiratoire avec un réservoir d'air. Si la température de la fumée est suffisamment basse, les personnes peuvent être évacuées à travers une fumée même très épaisse en utilisant ces masques de sauvetage.

figure 4 Un masque de sauvetage qui peut être mis sur la tête de la victime. Un détendeur ou une valve de demande pulmonaire doit être fixé, de préférence avec un tuyau extra-long pour que la victime et le pompier puissent se déplacer facilement l'un à côté de l'autre. *(Photo : Pieter Maes)*

Il est possible qu'une équipe de recherche ouvre une porte dans une pièce où il y a moins de fumée qu'à l'endroit où elle se trouvait à l'origine, mais suffisamment pour causer des problèmes de sécurité pour les éventuelles victimes à l'intérieur. Les choses sont rarement

claires et nettes dans la lutte contre les incendies. Les équipes de recherche doivent évaluer au mieux la tactique qu'elles vont employer.

3 Deuxième compartiment en feu : quelques courbes possibles

Les pompiers connaissent très bien la courbe de température d'un feu de compartiment ventilé. Il s'agit du graphique illustré à la figure 1. *Comment ce graphique change-t-il lorsque le feu se propage dans une deuxième pièce ?*

La figure 5 illustre à nouveau l'incendie de la figure 1 par une ligne rouge. Cette ligne rouge représente le comportement du feu dans une chambre à coucher, par exemple. La porte de la chambre étant ouverte, la fumée s'écoulera de la chambre vers la pièce voisine (par exemple, le salon). Dès que la couche de fumée descend sous le haut de l'ouverture de la porte, un flux se forme. Comme décrit ci-dessus, la fumée chaude rayonne de la chaleur sur tous les objets situés en dessous d'elle. Le canapé du salon sera ainsi chauffé.

Après l'embrasement dans la première pièce, les flammes de la chambre à coucher sortiront par la porte dans le salon. La température dans le salon commencera à augmenter de manière significative. Cela entraînera une augmentation considérable des radiations (proportionnelle à la puissance 4 de la température absolue). Un incendie se déclare alors dans le salon. Ce deuxième incendie est illustré par la ligne bleue. Cette ligne a également une phase de croissance et passe également en flashover. Il est très important que les pompiers réalisent que deux incendies dans des pièces différentes peuvent être à des stades différents. Le feu de la chambre à coucher peut être complètement développé (après l'embrasement) tandis que le feu du salon peut être encore au stade de la croissance (avant l'embrasement). Un incendie entièrement développé dans une pièce ne signifie pas que l'embrasement ne peut pas se produire dans une autre pièce. En d'autres termes, alors que l'équipe d'attaque progresse vers un incendie pleinement développé, un embrasement généralisé peut se produire dans la pièce qu'elle traverse.

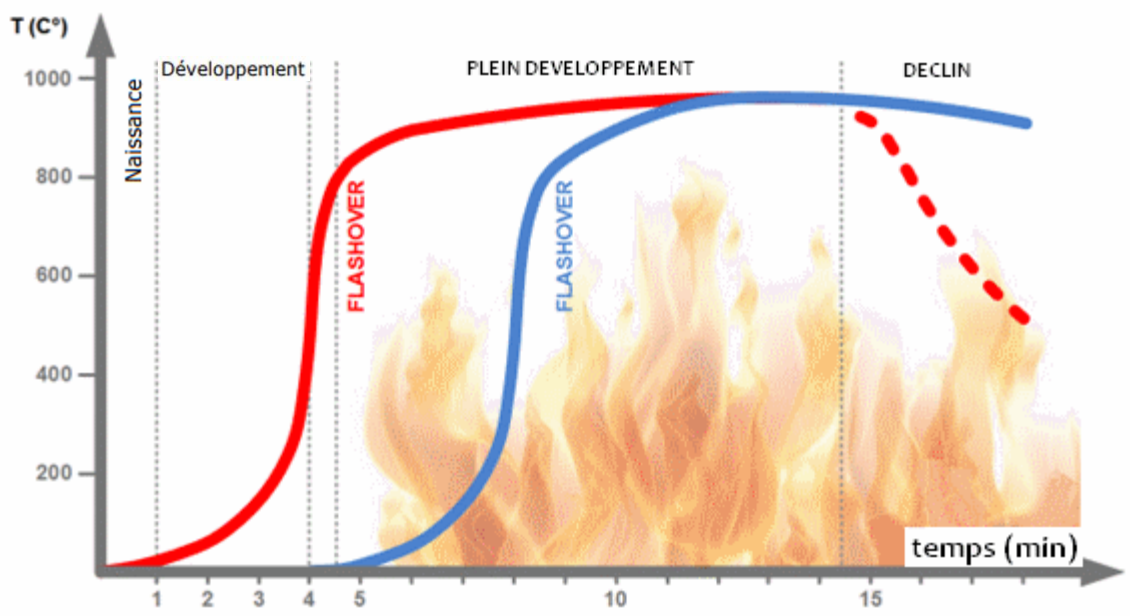

figure 5 Développement du feu dans plusieurs pièces. La ligne rouge représente le développement de l'incendie dans la pièce d'où provient le feu. Au stade de développement complet, les flammes sortent de la pièce par l'ouverture d'une porte. Les flammes pénètrent dans une deuxième pièce. La chaleur rayonnante de ces flammes va créer un feu secondaire (ligne bleue). Après quelques minutes, ce feu secondaire se transforme en embrasement. *(Dessin : Bart Noyens & Karel Lambert)*

Après un certain temps, la charge de combustible dans la première pièce s'épuisera. L'intensité du feu diminuera. Le feu entrera dans la phase de déclin. Cependant, le feu dans le salon brûlera toujours aussi intensément. Ce feu est au stade de plein développement. Là encore, les deux feux se comportent de manière différente (et auront également un aspect différent).

Nous pouvons également examiner la courbe du taux de dégagement de chaleur (HRR), qui illustre la puissance ou HRR accumulée pendant le feu. Ces courbes sont totalement différentes de celle de la figure 5. La chose importante à noter est la suivante : deux températures ne peuvent pas être additionnées, deux HRR le peuvent !

La ligne orange de la figure 6 illustre la puissance de l'incendie de la chambre à coucher (ligne rouge de la figure 5), évoluant du stade de début d'incendie au stade de croissance, puis au stade de plein développement. La phase de déclin n'est pas représentée. La progression du HRR est représentée de manière simplifiée. Lorsque le feu atteint le stade de plein développement, la puissance reste la même. Le feu est contrôlé par la ventilation et la puissance est déterminée par la quantité d'air qui peut circuler dans la pièce.

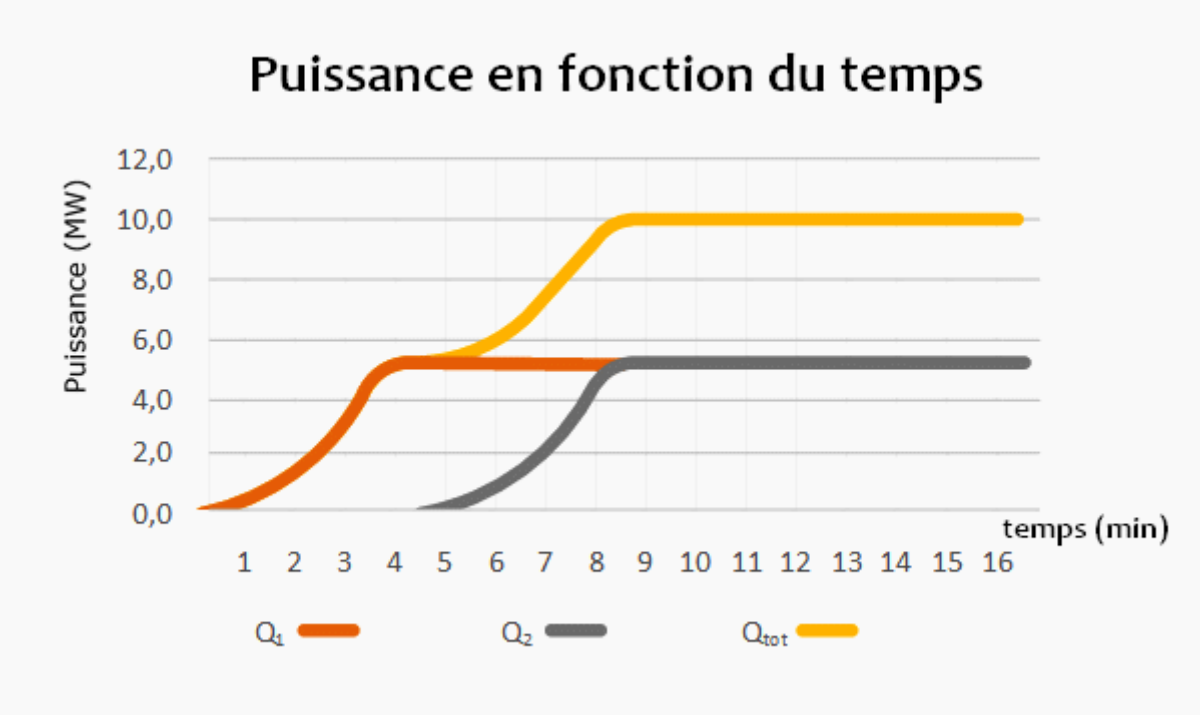

figure 6 Représentation simplifiée de l'accumulation de la puissance dans un incendie qui se propage dans une deuxième pièce. Deux puissance différentes peuvent être additionnés. *(Figure : Bart Noyens & Karel Lambert)*

La ligne grise illustre la puissance dans la deuxième pièce (la ligne bleue dans la figure 5). Ici aussi, la puissance reste la même après le flashover. Le graphique n'est pas tout à fait exact. En réalité, il est probable que l'embrasement dans le salon ait un effet sur l'incendie dans la chambre. Une (grande) partie de l'oxygène nécessaire au feu dans la chambre à coucher sera utilisée par le feu dans le salon. Pour des raisons de simplicité, cet aspect est ignoré dans la représentation actuelle.

La ligne jaune représente la puissance totale en cours de constitution. La ligne jaune est la somme des deux autres lignes. Lorsque les deux feux produisent chacun une puissance de 5 MW, une puissance totale de 10 MW est atteinte.

Bien que la température soit une quantité physique familière aux pompiers, la quantité de puissance d'extinction dont nous disposons dans nos tuyaux est présentée comme une puissance. Pour notre propre sécurité, il est important de toujours disposer d'un pouvoir d'extinction supérieur à la puissance de l'incendie. L'objectif n'est pas d'être complet.

4 Remarques finales

Le comportement du feu dans une seule pièce est très bien connu des pompiers. Les règles qui s'appliquent à un incendie dans plusieurs pièces sont beaucoup plus complexes. Cet article tente de présenter les règles les plus importantes de manière simplifiée. L'objectif n'est pas de couvrir entièrement le sujet. Le lecteur doit donc garder à l'esprit que certaines simplifications ont été faites et que la réalité est encore plus complexe que celle présentée ici.

5 Bibliographie

[1] *Lambert K & Baaij S (2018) Brandverloop : technisch bekeken, tactisch toegepast ; 2e édition, Sdu, Nederland.*

[2] *Lambert K (2019) De brandcurve anders bekeken, De BrandweerM/V, mei 2019*

[3] *CFBT-BE (2019) Bijscholing instructeurs Attack Cell 2019*

[4] *Drysdale D (1999) An introduction to fire dynamics, 2nd edition, John Wiley & sons, England*

[5] *Merci B (2010) Active fire protection II : smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent.*

[6] *Merci B (2011) Fire dynamics, études postuniversitaires en ingénierie de la sécurité incendie, Universiteit Gent.*

[7] *Karlsson B, Quintiere J (2000) Enclosure fire dynamics, CRC press.*

[8] *Lambert K (2016) Brandbaarheidsgrenzen, De BrandweerM/V, novembre 2016.*

[9] *Lambert K (2019) Waarom sterven mensen in een brand, De BrandweerM/V, maart 2019*

Karel Lambert
Traduction française Alexandre Piquet et Thomas Levasseur