

# Déterminer l'origine d'un feu par l'analyse des traces

Patrick M. Kennedy, CFEI, CFPS - John A. Kennedy and Associates, Inc., USA

Traduction Pierre-Louis Lamballais - flashover.fr - Septembre 2006

Proceedings of the Inaugural (2004) International Symposium on Fire Investigation, Science, and Technology (ISFI).

*« L'enquêteur a pour objectif de déterminer l'origine ou le point d'origine d'un feu, par l'observation des évidences physiques laissées par celui-ci : les traces »*

## Préambule

Depuis qu'existent les méthodes d'investigation relatives aux incendies, les enquêteurs ont utilisé les formes des traces laissées par le feu, comme première source d'information pour déterminer le point de départ (l'origine) du feu. La première édition du National Fire Code® du document NFPA921 « Guide pour les enquêtes relatives aux incendies et aux explosions », est le document le plus récent traitant de façon réellement scientifique, des traces laissées par le feu. Le rapport NFPA921 et celui de l'USFA relatif aux tests des traces laissés par les feux (Fire Burn Patterns Tests) préconisent tous les deux l'usage de l'analyse par le principe des vecteurs de chaleurs et de flammes, pour les enquêtes sur la progression des feux.

Ce document explique l'évolution et l'utilisation de l'analyse par les vecteurs de chaleur et de flamme dans le cadre de la recherche de l'origine d'un feu.

## Introduction

Depuis le tout début des enquêtes organisées concernant les feux, vers la fin des années 1940, les enquêteurs se sont basés sur les formes des traces laissées par le feu, afin d'en déterminer le point d'origine. En l'absence de témoins oculaires fiables, l'enquêteur doit déterminer l'origine ou le lieu d'origine du feu, par l'observation des éléments physiques laissés par celui-ci, c'est-à-dire les traces. Cependant, il a fallu attendre 1959 pour voir la diffusion (et l'acceptation) de documents exposant l'usage systématique de l'analyse des traces [Kennedy, J., 1959]. Depuis les 50 dernières années, les avancés scientifiques relatives au mode de production et à l'interprétation des signes laissés par le feu, ont été continuellement affinées et explicitées.

C'est durant les années 1960 / 1970 qu'ont été menées les recherches actuellement utilisées, concernant la production des signes et leur analyse, permettant de savoir ce qu'ils signifient réellement. Ces recherches ont été principalement conduites lors de tests en vraies grandeurs, réalisés durant des séminaires d'entraînement, tant au niveau local que national. Durant ces réunions, des essais de feux étaient réalisés au cours desquels les participants observaient et notaient les formes des signes résultants, pour ensuite interpréter les résultats au travers de raisonnements induits. Pour la plupart, les résultats de ces études ne furent pas publiés dans des documents scientifiques, mais plutôt utilisés dans des ouvrages concernant les expertises incendies, dans des magazines et dans des programmes d'entraînement pour les enquêteurs.

La première édition du document « Guide pour les enquêtes sur les feux et explosions » (« Guide for Fire and Explosion Investigations » [NFPA 921, 1992]), faisant partie du National Fire Code® [NFPA 921, 1992], est le premier document, reconnu par nos pères, qui traite d'un point de vue scientifique, des traces laissées par le feu,

Cependant, il a fallu attendre 1996, et l'annonce des tests sur les traces de feux, réalisés par l'USFA (United States Fire Administration's Fire Burn Patterns Tests [USFA 1997]), pour que les recherches scientifiques concernant l'utilisation de la forme des signes laissés par le feu, soient prises en compte par la communauté scientifique [Kennedy et Shanley, 1996].

Depuis 1992, le document NFPA 921 (disponible actuellement dans sa 5ème édition, datant de 2004) est devenu le standard de fait pour les enquêteurs Américains, en décrivant le lexique, la méthodologie, les éléments de base de la science des incendies, les formes des signes, les techniques et les procédures permettant de déterminer le lieu d'origine, les causes et les éléments responsables des incendies et des explosions.

## **NFPA 921-2004**

L'édition la plus récente du document NFPA 921 a été publiée par la NFPA, en Février 2004. Ses chapitres 3 (Définitions), 5 (Eléments de base de la science du feu), 6 (Formes des signes) et 7 (Détermination de l'origine) listent et expliquent les « règles de l'art » pour la détermination du lieu de départ d'un feu et l'analyse de la forme des signes.

### **NFPA 921-2004 Chapitre 3 – Définitions**

Parmi les définitions pertinentes que nous trouvons dans le document NFPA 921-2004, au chapitre 3, nous avons :

- 3.3.9 Zone d'origine. La pièce ou la zone dans laquelle le feu a démarré (voir aussi Point d'origine)
- 3.3.10 Flèche (en anglais : « arrow pattern »). Une trace en forme de flèche, laissée par le feu sur la section transversale d'un élément de structure en bois.
- 3.3.15 Perle (en Anglais : « bead »). La partie arrondie composée de métal re-solidifié, causée par un arc électrique et que l'on trouve à l'extrémité d'un conducteur électrique. Caractérisée par la démarcation franche entre la zone fondue et la zone non-fondue du conducteur.
- 3.3.25 Carbonisât (en Anglais : « char »). Matière carbonisée, qui a donc été brûlée et qui a un aspect noirci.
- 3.3.26 Carbonisât cloqué (en Anglais : « char blisters »). Segments convexes d'éléments carbonisés, séparés par des fissures ou crevasses qui se sont formées en surface, sur des matériaux tels que le bois suite à une action de pyrolyse ou de brûlure.
- 3.3.27 Brûlure propre (en Anglais, « clean burn »). Sur une surface, trace dans laquelle les suies ont été brûlés et ont disparu.
- 3.3.58 Trace du feu (en Anglais, « fire pattern »). Effets visibles ou mesurables physiquement, qui restent après un feu.
- 3.3.62 Propagation du feu (en Anglais, « fire spread »). Mouvement du feu, d'un endroit à un autre.
- 3.3.84 Vecteur de chaleur et de flamme (en Anglais : Heat and Flame Vector). Représentation graphique, sous forme de flèches, tracées sur un schéma de scène de feu, pour montrer la direction de la chaleur, de la fumée, ou des flammes.
- 3.3.97 Isocarbonisât (en Anglais, « isochar »). Ligne sur un schéma reliant les points à même profondeur de carbonisât
- 3.3.108 Origine. Voir 3.3.115, point d'origine, ou 3.3.9, zone d'origine
- 3.3.114 Colonne thermique / zone réactive (en Anglais : plume). Colonne des gaz chauds, flammes et fumées, montant du foyer. Appelée également colonne de convection, courant aérien ascendant thermique etc...
- 3.3.115 Point d'origine. La localisation physique exacte, où une source de chaleur et un combustible ont été mis en contact l'un avec l'autre, produisant ainsi le départ du feu.

### **NFPA 921-2004 Chapitre 5 – Basic Fire Science**

Le document NFPA 921-2004 Chapitre 5 – « Basic Fire Science » donne une bonne vue d'ensemble des principes liés à l'étude des feux et de leur dynamique, qui doivent faire partie des connaissances minimum requises pour les enquêteurs. Dans l'introduction de la section 5.1.1, nous pouvons lire :

*« Les principes d'ignition et de combustion doivent faire partie des connaissances de base de l'enquêteur et doivent l'aider dans l'interprétation de la scène de feu, et dans le développement des conclusions relatives à l'origine et aux causes de l'incendie ».*

## NFPA 921-2004 Chapitre 6 – Traces

Les traces laissées par le feu, sont les éléments visibles ou mesurables des phénomènes physiques qui restent après l'incendie. Cela comprend les effets thermiques sur les matériaux, tels que la carbonisation, l'oxydation, la consommation des combustibles, les dépôts de fumées et de suies, la déformation, la fonte, les changements de couleur, les changements dans le caractère des matériaux, l'effondrement de la structure ainsi que d'autres effets [NFPA 2004, §6.3].

Le Chapitre 6 du document NFPA 921-2004 couvre les principes de la dynamique de production des signes, la définition de ce qu'est un signe laissé par le feu, les types « basique » de traces, l'effet de la carbonisation sur les surfaces, l'effet de l'eau, l'oxydation, la fonte des matériaux, la dilatation thermique et la déformation des matériaux, fumée et suie, les combustions « propres » (dans lesquelles la suie a disparu), la calcination, les vitres des fenêtres, l'effondrement du mobilier, le positionnement des objets, l'emplacement des signes, la géométrie de ces signes, le recouvrement des signes, les signes surfaciques et la déformation des matériaux.

Dans ses paragraphes, sections d'introduction 6.1.1 et 6.1.2, le document NFPA 921 avertit l'enquêteur :

*« L'un des objectifs majeur de l'observation d'une scène d'incendie, c'est la reconnaissance, l'identification et l'analyse des signes laissés par le feu. L'analyse des signes est réalisée dans le but de déterminer le chemin suivi par le feu, identifier les zones et points d'origine et identifier les éléments combustibles impliqués.*

*Les différences concernant la structure, la charge de combustible, les causes d'ignition, les apports d'air, la ventilation et de nombreux autres facteurs, rendent les circonstances différentes d'un feu à l'autre.*

*Cette discussion ne peut donc pas couvrir toutes les variations possibles des signes et traces, ni comment ceux-ci surviennent.*

*Les principes de base sont décrits ici, et les enquêteurs doivent les mettre en application de façon particulière, sur chaque enquête ».*

Nous lisons également dans la section 6.2.1 :

*« La reconnaissance, l'identification, et l'analyse correcte des traces par un enquêteur, dépendent de la compréhension de la dynamique de développement du feu, de la chaleur et de la propagation des flammes. La capacité à reconnaître, identifier et analyser correctement ces traces, nécessite une compréhension de la manière dont les 3 modes de transfert de la chaleur (conduction, convection et rayonnement), produisent ces traces, la nature des flammes, ainsi que le mouvement de chaleur et de fumées au sein de la structure. »*

La plupart des traces produites directement par les flammes sont des cônes tronqués. Ces traces représentent les lignes de démarcation créées lorsque la forme tri-dimensionnelle (cône) de la colonne thermique / zone réactive, est tronquée ou coupée par l'intersection avec une surface plane comme le mur, le plafond, le dessous d'une table ou d'un étagère. Parmi ces traces de cônes tronqués, nous trouvons :

- Les traces en forme de V sur les surfaces verticales
- Les cônes inversés
- Les traces en forme de sablier
- Les traces en forme de U
- Les traces en forme de pointe et de flèches
- Les traces circulaires

### Types de traces

Les traces laissées par le feu sont de deux types : les traces de mouvement et les traces d'intensité. Un usage systématique de plusieurs traces présentes sur une scène de feu, peut souvent permettre, par combinaison, de remonter jusqu'à la source de chaleur qui les a produites. L'aspect de certaines traces peut définir aussi bien le mouvement que l'intensité (chaleur / combustible).

Les traces de mouvements des flammes et de la chaleur, sont produites par l'amplification et le mouvement du feu, et par le résultat des produits de combustion, loin de la source initiale d'ignition. Ces traces, soigneusement identifiées et analysées, permettent de revenir jusqu'à la source de chaleur qui les a produites.

Les traces d'intensité des flammes et de la chaleur sont produites par la réponse des matériaux aux effets des variations d'intensité et d'exposition à la chaleur. Les différents effets de la chaleur sur certains matériaux, peuvent produire des lignes de démarcation. Ces lignes de démarcation sont utiles à l'enquêteur et lui permettent de déterminer les caractéristiques et la quantité de matériaux combustibles, ainsi que la direction de propagation du feu.

### Les cônes tronqués

Les cônes tronqués sont des traces tri-dimensionnelles, visibles aussi bien sur les surfaces horizontales que verticales. (voir Figure 1). Ces traces sont produites lorsque les surfaces verticales et horizontales tronquent ou ont une intersection avec la colonne thermique / zone réactive, qui elle a une forme de tronc de cône ou de sablier. De nombreuses traces de mouvements du feu, comme les formes en V, en U, circulaires, en forme de « pointes et flèches », sont liées directement à la présence de ce cône tridimensionnel, produit par l'énergie thermique du feu.

La dispersion de la chaleur sous forme d'un cône est causée par l'expansion naturelle de la colonne thermique lorsqu'elle augmente en hauteur et par la diffusion horizontale de la chaleur lorsque la colonne thermique rencontre un obstacle dans son mouvement vertical, obstacle tel que le plafond d'une pièce. Les dommages thermiques causés à un plafond vont généralement s'étendre au-delà de la zone circulaire attribuée à un « cône tronqué ». La trace en forme de cône tronqué combine à la fois des traces bidimensionnelles sur les surfaces verticales, telles que les formes en V, les formes en pointes ou flèches et les formes en U, mais aussi des formes circulaires sur les plafonds et autres surfaces horizontales.

C'est la combinaison de plus d'une forme bidimensionnelle, sur des surfaces perpendiculaires, verticales et horizontales, qui donne au cône son caractère tridimensionnel.

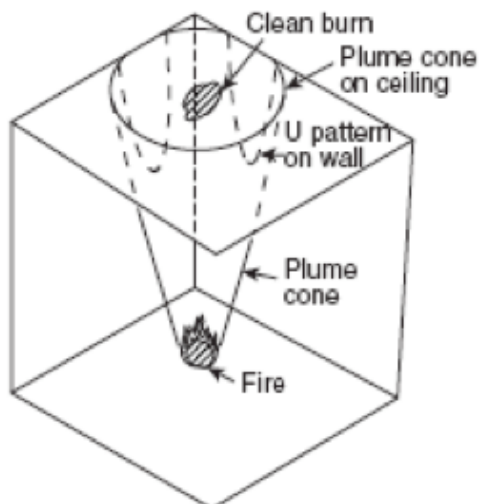
La présence d'une forme en tronc de cône peut se démontrer de façon théorique, dans un local avec 4 murs, par la présence de diverses traces en forme de U ou de V sur les murs, et avec la présence de traces circulaires (ou des portions de traces circulaires) apparaissant au plafond.

Des traces équivalentes peuvent également être relevées sur le mobilier (voir Figure 1).

### Traces en V sur les surfaces verticales

Les traces en forme de V sont produites par les flammes, par la chaleur convective ou radiante en provenance des gaz chauds et par la fumée, dans la colonne thermique.

Les traces en V apparaissent comme des lignes de démarcation, définissant la limite entre la colonne de flammes et les zones de moindre chaleur, à l'extérieur de cette colonne. Voir par exemple la Figure 2.



**Figure 1.** NFPA 921-2004 (Figure 6.17.6) Formation d'une trace en forme de cône tronqué.

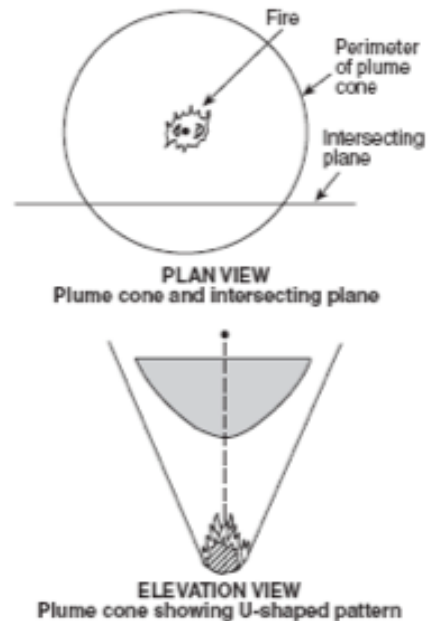


**Figure 2.** NFPA 921-2004 (Figure 6.17.2) Forme en V typique, montrant les dommages sur un mur et sur les montants en bois.

### Traces en forme de U

Les formes en U sont semblables aux formes en V (aux angles plus abruptes) mais présentent des tracés courbes et arrondis pour les démarcations, plutôt que des formes anguleuses (voir Figure 3). Les traces en forme de U sont le résultat de l'effet de radiation thermique sur les surfaces verticales, situées à une distance plus grande de la chaleur, que les surfaces qui montrent des traces en forme de V.

Dans les formes en U, les lignes de démarcation les plus basses sont généralement plus hautes que les lignes de démarcation les plus basses des formes en V correspondantes qui elles sont plus proches du feu.

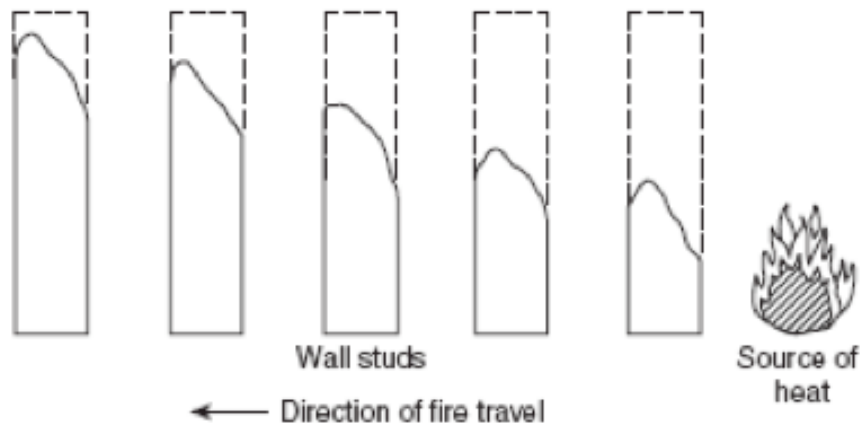


**FIGURE 3.** NFPA 921-200

*Figure 6.17.5 Développement d'une trace en forme de U.*

### Traces en forme de pointes et de flèches

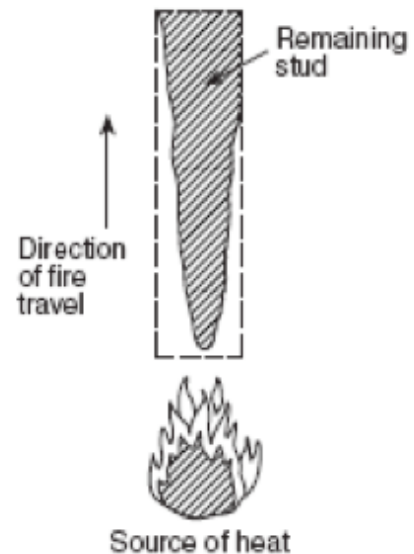
Ces traces sont généralement observées sur des séries d'éléments combustibles, tels que les montant en bois (dans les murs) qui n'étaient pas protégés ou dont la surface de protection (recouvrement en panneaux de bois par exemple) a été détruite par le feu. Il est possible d'identifier la progression et la direction de la propagation d'un feu le long d'un mur, et de remonter jusqu'à la source, par l'examen de la hauteur et des formes résiduelles des poteaux en bois ayant été touchés par l'incendie. En général, les montants les plus courts et les plus sévèrement carbonisés se trouvent plus près de la source du feu que les montants les plus grands. La hauteur des montants qui restent, augmente avec la distance les séparant de la source de chaleur. La différence de hauteur et d'intensité de la carbonisation se remarque sur les montants, comme montré sur la Figure 4.



**FIGURE 4.** NFPA 921-2004 Figure 6.17.7

*Montant de bois dans les murs, montrant la diminution des dégâts en fonction de l'éloignement par rapport au feu.*

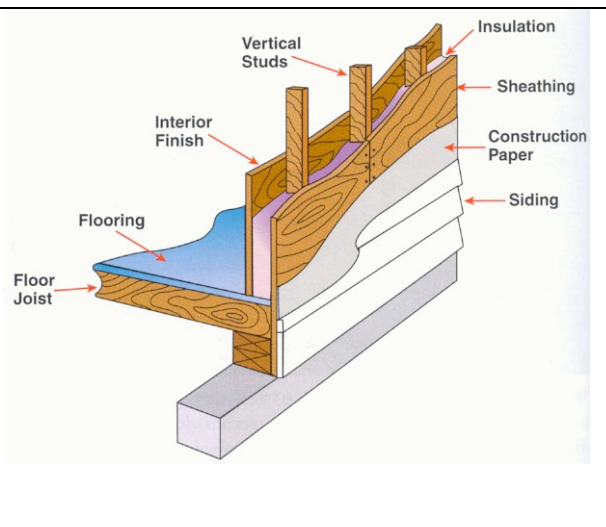
La section transversale des montants tendra à produire des « flèches » se dirigeant vers la source de chaleur. Cet effet est provoqué par la destruction (combustion) des angles des montants, sur la face dirigée vers la source de chaleur, comme montré sur la Figure 5. Une carbonisation plus importante peut être constaté du côté du montant le plus proche de la source de chaleur.



**FIGURE 5.** NFPA 921-2004 Figure 6.17.7.1 Section transversale d'un montant de mur en bois, dirigé vers le feu.

**Note du traducteur**

Les murs en bois étant très fréquents dans les maisons particulières Américaines, les traces laissées sur ce type d'élément sont analysés ici avec précisions. Entre autres les montants (en Anglais « studs »), qui sont des sortes de poteaux, présents à l'intérieur des murs et qui deviennent visibles lorsque les parois qui les recouvrent ont été détruites par le feu. L'illustration ci-contre, extraite d'un document sur les RIT (Rapid Intervention Team), décrit assez bien la structure d'un mur en bois, et la présence dans celui-ci, de ces montants (« studs »). Dans les habitations Européennes, cette analyse peut être valable dans le cas de murs recouvert de bois (frisette, lambris) ou dans l'analyse des éléments de charpente, etc.



**NFPA 921 – 2004 Chapitre 17 – Déterminer l'origine du feu**

En général dans le document NFPA 921, la recherche du lieu d'origine est considérée comme étant la première étape dans une enquête. En plus, il est indiqué que :

*« Généralement, si l'origine d'un feu ne peut être déterminée, alors la cause ne peut être déterminée... La zone d'origine est presque toujours déterminée par l'examen des traces laissées par le feu sur les lieux de l'incendie... »* [NFPA 2004, §17.1].

Le document NFPA-921 continue en énumérant 4 éléments qui sont fréquemment utilisés dans le cadre de la recherche de l'origine du feu [NFPA 2004, §17.1] :

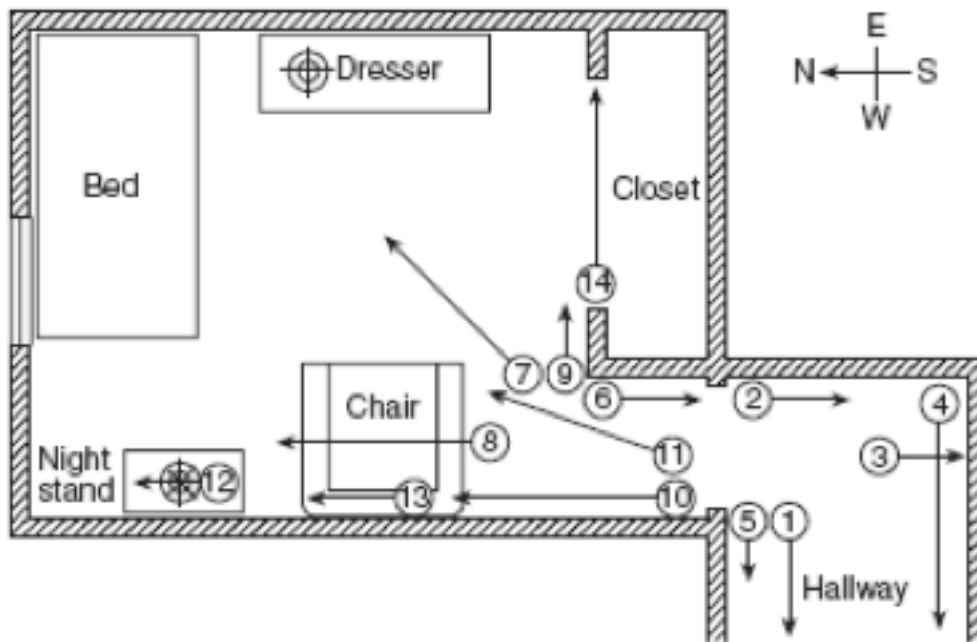
- Marques physiques (traces laissées par le feu)
- Observations faites par les témoins
- Analyse de la physique et de la chimie du feu : déclenchement, développement et croissance
- Endroits où des arcs électriques ont provoqué des dégâts.

L'évaluation des éléments ci-dessus concerne en premier la propagation du feu sur toute la scène de feu. Cette évaluation étant faite avec précision, il devient alors possible de déterminer le lieu de départ de cette propagation, et enfin de déterminer l'origine du feu. Durant cette analyse, il est essentiel que l'enquêteur reconnaisse et documente les mouvements de chaleur et l'intensité des traces, et analyse l'importance et la direction de chaque trace découverte [NFPA, 2004, §17.2].

### Analyse des vecteurs de chaleur et de flammes

La technique d'analyse des vecteurs de chaleur et de flammes est considérée comme le moyen le plus approprié pour étudier la propagation du feu. Cette technique est recommandée par le document NFPA 921 et par le rapport de la USFA concernant les essais sur les traces (document «Fire Burn Patterns Tests») [NFPA, 2004, §17.2.3] [USFA, 1997].

Basé sur la détermination du trajet de propagation par l'analyse des traces laissées par le feu, ce principe d'analyse des vecteurs de chaleur et de flammes a été mis au point en 1983, et a fait l'objet d'une première publication au sein de la communauté des enquêteurs, en 1985 [Kennedy J. & Kennedy P., 1985].



**Figure 6.** NFPA 921-2004 (Figure 17.2.3) Diagramme d'analyse des vecteurs, montrant les vecteurs définissant la taille (intensité) et la direction de la chaleur du feu.

Le tracé des vecteurs de chaleur est réalisé sur un plan de la scène de feu, en notant sur ce schéma tous les mouvements du feu qui ont été identifiés ou toutes les combinaisons de traces relevées. Le plan doit indiquer les murs, les passages, les portes, les fenêtres ainsi que tous les éléments de mobilier et ce que contient le local. Ensuite, en utilisant un tracé sous forme de vecteur, l'enquêteur note les interprétations de direction de la chaleur ou des flammes, en fonction des traces identifiables présentes sur la scène de feu. Les flèches peuvent pointer dans la direction de la source de chaleur ou dans l'autre direction, peu importe, du moment que cette logique de tracés soit identique sur tout le schéma. Les flèches peuvent être annotées pour indiquer l'un des nombreux facteurs, tels que la température, la durée de présence de la chaleur, le flux thermique, son intensité... Mais le paramètre le plus couramment et facilement noté, c'est la taille de la trace qui correspond à la flèche (voir Figure 6).

En complément, d'autres vecteurs peuvent être ajoutés pour montrer la direction des mouvements de chaleur. Dans ce cas, l'enquêteur doit clairement distinguer les vecteurs qui représentent les traces, des vecteurs qui représentent les mouvements de chaleur, qui eux sont déduits de l'interprétation des traces. Un plan avec ces vecteurs donne à l'enquêteur un point de vue global, pour son analyse. Le plan peut également être utilisé pour identifier les traces qui entrent en conflit et qui devront être comprises et expliquées.

Concernant cette discussion, un point important doit être noté : c'est la terminologie de « source de chaleur » et « émission de chaleur ». Ces termes ne sont pas synonymes d'origine du feu. Ces termes correspondent en effet à toute source de chaleur pouvant créer une trace identifiable. La source de chaleur peut être ou non, générée par le combustible initial. Pour illustrer cela, nous pouvons prendre l'exemple d'un feu qui se propage dans une structure et qui met le feu à un autre élément combustible. Cet autre élément combustible devient à son tour une source de chaleur, qui produira

elle-même des traces. Par conséquent, il est impératif que l'analyse utilisant les vecteurs définissant la chaleur et la flamme, soit tempérée par une compréhension précise des principes de progression du feu et par les connaissances de base de la dynamique du feu.

De la part de l'enquêteur, ce principe nécessite évidemment de l'entraînement et de l'expérience, ainsi qu'une connaissance de la dynamique du feu : forme des colonnes de flammes, différentes zones dans ces colonnes, flashover, principe de mesure des profondeurs de carbonisation et de calcination, reconnaissance et analyse des formes des traces laissées par le feu.

### **Références bibliographiques**

- [1] Kennedy, John. 1959. *Fire and Arson Investigating*. Chicago: Investigations Institute.
- [2] National Fire Protection Association (NFPA). 1992. *NFPA 921-1992 Guide for Fire and Explosion Investigations*. Quincy, MA.
- [3] Kennedy, P., and Shanley, J. 1996. "Report on the United States Fire Administration (USFA) Program for the Study of Fire Patterns." Proceedings, InterFlam 96, Interscience Ltd., London.
- [4] United States Fire Administration (USFA). 1997. FA 178. *USFA Fire Burn Pattern Tests*. Emmitsburg, MD.
- [5] National Fire Protection Association (NFPA). 2004. *NFPA 921-2004 Guide for Fire and Explosion Investigations*. Quincy, MA.
- [6] Kennedy, J. and Kennedy, P 1985. *Fires and Explosions - Determining Cause and Origin*. Investigations Institute, Chicago.