

# Débit pour la lutte contre l'incendie

## Impact des recherches théoriques & empiriques sur les facteurs d'efficacité.

Par Barnett (NZ) - GRIMWOOD (UK)

Traduction Franck GAVIOT-BLANC et Pierre-Louis LAMBALLAIS

Traduction de l'article : **Fire-Fighting Flow-rate – Publié en Janvier 2005**

---

### Introduction

Une récente enquête, réalisée au sein de 58 brigades de sapeurs-pompiers britanniques, a démontré que dans 89 % des cas, ils utilisaient en réalité moins d'eau pour leurs établissements d'attaque que ce qu'ils pensaient et dans quelques cas, ils utilisaient 16 % de moins que le débit prévu (en fonction de l'ajutage - du diffuseur-)! Or l'influence du CFBT (Entraînement à la lutte contre les feux en espace clos) au Royaume-Uni a encouragé un raisonnement dangereux : moins d'eau signifie une lutte contre le feu plus sûre et plus efficace ! Mais cette philosophie est valable seulement pour des feux en phase gazeuse, sur des surfaces restreintes (jusqu'à 70m<sup>2</sup> pour une charge de feu ordinaire). Au-delà, un établissement permettant un « fort débit » est essentiel pour le contrôle de l'incendie. Les situations dans lesquelles les sapeurs-pompiers « pulsent » uniquement de petits débits dans un volume important de gaz de combustion en feu sont loin des objectifs recherchés dans le cadre des programmes CFBT et placent inutilement les sapeurs-pompiers dans des situations à risques.

Firetactics.com continue à promouvoir la difficile transition entre les tuyaux en dévidoir à haute pression de 25mm de diamètre vers les tuyaux de 51mm, souples, pour le Service d'Incendie Britannique. Cette vision des choses a été récemment soutenue par l'ODPM.

*« Les Services d'Incendie et de Secours devraient considérer l'adoption des tuyaux de 51mm au lieu des tuyaux de 45mm pour la lutte des incendies de grande ampleur (lutte incendie dans les IGH). Du fait de leurs caractéristiques hydrauliques améliorées et de leurs capacités à fournir une attaque adéquate lors de la lutte contre le feu à partir d'installations fixes, qui peuvent ne pas être efficaces avec des tuyaux de 45mm. Ces avantages s'appliqueraient aussi à d'autres cas de lutte contre le feu actuellement entreprises avec des tuyaux de 45mm ... »*

**Bureau du Premier Ministre (BDAG) Décembre 2004**

**(Effet de la réduction de pressions sur la performance des établissements lors de la lutte contre l'incendie dans de grands bâtiments – Hunt & Roberts ODPM 2004)**

*« Il faut noter que les équipes ayant entrepris les essais ont perçu un certain nombre d'autres avantages dans l'utilisation des tuyaux de 51mm de diamètre. Entre autres une mise en oeuvre améliorée et, comme le tuyau est jaune, la capacité de le localiser – ainsi que les équipes au bout du tuyau – lorsque les conditions d'éclairage sont faibles ou qu'il y a de la fumée. Ces avantages s'appliqueraient également à d'autres cas de lutte contre le feu actuellement entreprises avec des tuyaux de 45 mm. De plus, il faut noter que ce diamètre ainsi que la couleur du tuyau sont facilement disponibles au Royaume-Uni et couvert par la même Norme britannique que les autres sortes de tuyaux. »*

**ODPM. Le Feu et la Circulaire de Service de Sauvetage 55/2004**

## **Besoin de débit d'eau plus important et de plus gros diamètre des tuyaux d'attaque pour la lutte contre le feu au Royaume-Uni**

Ce document est conçu pour vous démontrer comment les exigences de débit, lors de la lutte contre le feu, ont été abordées au travers de récents projets de recherche. Il explique aussi comment, au Royaume-Uni, l'équipement utilisé pour transporter l'eau sur les feux a progressivement évolué dans un contexte mal adapté et ce durant les cinquante dernières années. Le résultat de cette mauvaise utilisation est que le but visant à un emploi optimal de l'eau lors de la lutte contre le feu, en utilisant les tactiques modernes, n'est pas atteint. Ce document prend en compte les points suivants:

- Comment intervenir sur les feux de locaux en utilisant les nouvelles tactiques ?
- Le concept d'Attaque 3D présentés par les Sapeurs-Pompiers Suédois
- Les méthodes d'Attaque Indirectes présentées par les Sapeurs-Pompiers Américains
- Les concepts d'attaque traditionnelles « directes » en utilisant des établissements modernes, demandant des pressions supérieures à la lance
- La science et le développement de débit pour la lutte contre le feu et du besoin de fournir aux sapeurs-pompiers des débits fiables et efficaces, qui leur permettront de prendre le contrôle d'un feu lors des phases initiales de l'opération, et particulièrement en utilisant des ressources limitées
- Comparaisons de recherche internationales sur les débits de lutte contre le feu
- Performance des tuyaux rigides de 19 et 25mm sur dévidoir lors d'intervention sur la phase gazeuse
- Capacité des établissements de tuyaux souples de 38, 45 et 51mm lors d'intervention sur la phase combustible
- Comparaison entre les tuyaux de 25mm haute pression en dévidoir, et les établissements de tuyaux souples, basse pression tant pour intervention de lutte contre le feu sur phase gazeuse que sur le combustible
- Débit critique contre débit tactique
- Efficacité de l'absorption de la chaleur d'un flux thermique
- Formule utilisable en opération, pour l'estimation des débits nécessaires à l'extinction
- Débits de base nécessaires pour les lignes d'attaques

### **L'Auteur**

Paul Grimwood est un Sapeur-Pompier retraité de Londres, qui travaille sur les débits de lutte contre le feu depuis 1989. Son étude initiale a porté sur une centaine de feux sur le secteur de Londres (ouvrage « Fog Attack » paru en 1992) et a démontré qu'une importante proportion de feux étaient éteints pendant leurs phases de décroissance ce qui est une approche peu souhaitable lors des feux de structure, car cela augmente le risque d'effondrement et expose les sapeurs-pompiers à des risques inutiles.

Ses propositions et ses estimations pour le calcul des débits minimaux nécessaires pour la lutte contre les incendies sont justifiées par l'enquête récente qu'il a réalisé auprès de 58 brigades et qui a démontré que 89 % des brigades de sapeurs-pompiers britanniques sous-alimentent leurs établissements d'attaque et n'arrivent donc pas à atteindre les performances que l'on peut attendre des lances actuelles.

Ses premières recherches ont été utilisées par Cliff Barnett, un expert mondialement reconnu, en matière de débit de lutte contre le feu. La mise à jour du document TP 2004/1 produit pour la SFPE Nouvelle-Zélande et les projets de recherche sont discutés ici.

### **Les traducteurs**

Franck GAVIOT-BLANC est Sapeur-pompier Volontaire en France depuis 1987. Technicien de Recherche dans un Institut Lyonnais, il a intégré en 1997 une division qui développe des procédés et exerce dans les domaines des procédés en Génie Chimique et Thermique. Chimiste de formation, il étudie les phénomènes

explosifs et participe à la traduction de documents pour les sites <http://www.flashover.fr> et <http://www.firetactics.com> il est joignable à l'adresse : [franck.gaviot-blanc@flashover.fr](mailto:franck.gaviot-blanc@flashover.fr).

Pierre-Louis LAMBALLAIS est Sapeur-Pompier Volontaire en France. Formateur Incendie pour une société privée , il en gère les trois containers flashover. Il étudie les accidents thermiques depuis plusieurs années, et participe à la traduction de documents destinés aux Sapeurs-Pompiers. Gestionnaire du site : [http://www .flashover.fr](http://www.flashover.fr) , il est joignable à l'adresse [pl.lamballais@flashover.fr](mailto:pl.lamballais@flashover.fr)

## 1. Concepts d'attaque de feux compartimentés

### Les Mécanismes d'Extinction de Feu

**Refroidissement du combustible** : refroidissement de la surface du combustible solide, qui réduit le taux de pyrolyse et ainsi le taux de combustible dans la zone de flamme. Ceci réduit le taux de dégagement de chaleur du feu, par conséquent la réaction thermique de la flamme est également réduite et ceci augmente l'effet de refroidissement primaire de l'agent d'extinction. L'application de gouttelettes d'eau sur un foyer est typique de cette méthode bien qu'un jet d'attaque direct, ou une attaque en jet bâton puissent être tout aussi efficaces, sinon plus.

**Refroidissement de la flamme** : refroidissement direct de la zone de flamme. Ceci réduit la concentration en radicaux libres (en particulier les chaînes ramifiées, initiatrices de la réaction de combustion). Une certaine partie de la chaleur de réaction est utilisée pour chauffer une substance inerte (comme l'eau) de ce fait, il reste moins d'énergie thermique disponible pour continuer le démantèlement chimique des composés situés à proximité de la zone de réaction. Une des fonctions de la nouvelle technologie de brouillard d'eau est d'agir de cette manière, les fines gouttelettes fournissant une très grande superficie par unité de masse de brouillard afin d'augmenter le taux de transfert thermique.

**Neutralisation de la flamme** : neutralisation (inertage) de l'air alimentant la flamme en réduisant la pression partielle d'oxygène par addition d'un gaz inerte (par exemple l'azote, le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau). Cela équivaut au remplacement de l'oxydant fourni à la flamme par la production de vapeur d'eau et c'est le mécanisme dominant par lequel les concepts de Layman/Royer/Nelson d'attaque indirecte accomplissent l'extinction.

Dans une discussion sur le mécanisme d'extinction des feux par système fixe de brouillard d'eau, Mawhinney (1) a ajouté aux trois possibilités ci-dessus, *l'atténuation thermique du rayonnement, la dilution du mélange inflammable air / vapeur et l'inhibition chimique* comme jouant un rôle dans l'extinction des feux.

Mécanisme d'extinction	Méthode de suppression	Pourcentage estimé utilisé
Refroidissement du combustible	Attaque directe	95 % des feux de structures
Refroidissement de la flamme	Attaque offensive 3D	40 % des feux de structures
Neutralisation de la flamme	Action défensive 3D	85 % des feux de structures
Neutralisation de la flamme	Attaque indirecte	5% des feux de structures

Tableau 1 : Mécanismes d'extinction des feux ; méthodes de suppression des feux et pourcentage estimé d'utilisation pour chaque tactique de suppression de feux en structure au Royaume-Uni (3D Firefighting – Grimwood ; Hartin ; McDonough & Raffel – FPP/IFSTA Oklahoma State University USA 2005)

### Deux types de feu de structures en milieu clos

Un feu de local clos ou cloisonné c'est un feu qui implique une pièce ou un espace confiné à l'intérieur d'une construction. Un feu impliquant deux ou plusieurs pièces ou espaces et dit feu multi compartiments. Un feu qui s'est développé au-delà des limites du compartiment, et dans lequel les éléments de la

construction sont impliqués dans le feu, est dit « structurel ». En se basant sur les mécanismes d'extinction de feux ci-dessus, nous distinguons deux types de combustions basiques, face auxquelles les sapeurs-pompiers devront faire face dans presque tous les feux de locaux, à savoir:

- **Le feu en phase de combustible solide** – Foyer bidimensionnel ou feu de surface ( $m^2$ )
- **Le feu en phase gazeuse** - Feu tridimensionnel ( $m^3$ )

Alors que tous les sapeurs-pompiers sont capables de penser en termes bidimensionnels et d'utiliser des méthodes traditionnelles pour appliquer l'eau sur des feux dans leur phase de combustibles « solides », combien sont capables de voir un feu en « 3 Dimensions » et d'utiliser des techniques pour parer aux dangers impliquant la phase gazeuse ? De plus, qu'en est-il du risque ? Car l'idée que l'accumulation de gaz en combustion dans les parties supérieures, ou dans des compartiments adjacents ou non-adjacents, expose les sapeurs-pompiers à un risque, est rarement prise en compte.

*NdT: la notion de phase gazeuse et étroitement liée à la compréhension des feux de locaux. Ici, cette notion est supposée comprise. Si ce n'est pas votre cas, nous vous conseillons la lecture préalable d'autres documents, disponibles sur <http://www.flashover.fr>*

Il y a trois méthodes de suppression du feu (employant de l'eau) pouvant être utilisées pour traiter les deux types de feu ci-dessus:

- **L'attaque directe** – c'est l'approche traditionnelle, utilisée sur la majorité des feux. Cette méthode consiste à utiliser un jet d'eau pour refroidir les surfaces de combustible impliquées dans le feu, en application directe sur ces surfaces. La quantité d'eau est évaluée en  $lpm/m^2$ .
- **L'attaque indirecte** – C'est une méthode d'application de brouillard d'eau sur les surfaces surchauffées du compartiment en feu pour créer une masse de vapeur qui remplacera l'oxygène, pour étouffer le feu. Cette approche, basée sur les principes de Lloyd Layman (aux Etats-Unis) et généralement connue sous le nom de méthode « Iowa » ou de méthode « Royer/Nelson », et est normalement appliquée à partir de l'extérieur. Lorsqu'elle est appliquée sous des protocoles stricts, cette méthode est extrêmement efficace dans certaines situations et peut traiter la combustion du combustible « solide » ainsi que les phases gazeuses.
- **Le brouillard d'eau offensive 3D (tri dimensionnelle)** – C'est une méthode qui a été présentée par les sapeurs-pompiers Suédois au début des années 1980, en employant des actions contrôlées de « pulsing » à la lance, avec de brefs éclats de brouillard d'eau, pour neutraliser la combustion de la phase gazeuse, de façon offensive. Cette approche peut aussi être employée de façon défensive pour empêcher ou atténuer les effets des flashovers, backdrafts, ou d'autres formes d'ignitions des gaz de combustion. Le terme 3D se réfère aux mécanismes volumétriques de combustion de la phase gazeuse et les applications d'eau associées sont normalement calculées dans des dimensions cubiques ( $lpm/m^3$ ).

## 2. La Science du Débit de Lutte contre l'incendie

Le concept de CFR (Critical Flow Rate = Débit Critique) se définit comme « *le débit minimum d'eau ( $lpm/m^2$ ) à utiliser pour une suppression complète d'un feu qui est toujours dans sa phase de développement, ou pendant une baisse progressive, donc dans sa phase de régression* ». Lorsqu'un feu de local se trouve dans sa phase de croissance, la production de chaleur augmente constamment, et les quantités d'eau utiles pour l'extinction seront beaucoup plus importantes que si le feu avait progressé au-delà de sa phase de combustion « stationnaire », donc dans une phase de régression.

Il y a eu plusieurs études et recherches internationales qui ont essayé de calculer les débits de lutte contre l'incendie et les débits critiques. Il est important de se rendre compte que le débit critique (CFR) peut varier en fonction du style d'attaque. Le CFR pour une attaque directe sur la phase de combustible solide sera différent d'une attaque durant la phase gazeuse du feu. De la même façon, le taux d'évacuation de chaleur d'un feu peut être influencé par le profil de ventilation et cela peut à son tour

affecter le CFR et ce quel que soit le type de local. Il est donc important de garder ces points en tête, lorsque l'on aborde les différentes formules utilisées pour calculer les débits de lutte contre l'incendie. En comparant les formules de calcul de débits, il est également important de considérer leurs origines et objectifs, car chaque approche est destinée à traiter une gamme spécifique de conditions de feu ainsi que des mécanismes de suppression du feu.

Depuis que j'ai commencé mes recherches sur les débits requis lors de la lutte contre les incendies, en 1989, je me suis efforcé de faire une évaluation qui soit la plus fiable possible, utilisable par des sapeurs-pompiers en fonction de leurs approches tactiques face aux feux en structures. Pour moi, il était évident que les formules de débit existantes étaient trop vagues, ou théoriques, et celles qui se sont développées depuis sont souvent imparfaites, ou trop compliquées à utiliser. Ce que je voulais, c'était fournir une formule simple, utilisable en opération, basée sur des données de recherche empiriques enregistrées à travers des centaines de feux réels, à la fois des essais et des situations réelles. En 1999, j'ai présenté et défini le concept de débit tactique (TFR) dans ma recherche, comme étant le débit à atteindre pour des opérations de lutte contre l'incendie. Cette évaluation opérationnelle (donc utilisable en opération) a prouvé sa fiabilité pour des feux compris entre 50 et 600m<sup>2</sup> de superficie.

En décembre 2004, Cliff Barnett, ingénieur « incendie » en Nouvelle Zélande, s'est tourné vers mon travail pratique et cette formule utilisable en opération, pour mettre à jour ses propres facteurs d'efficacité mondialement renommés, et employés par la société d'ingénieurs de protection contre l'incendie (NZ), pour la prévision des débits de lutte contre l'incendie dans le dimensionnement des applications de base en ingénierie. Le document résultant SFPE (NZ) TP 2004-1 offre, à mon avis, des conditions de débit de lutte anti-incendie plus précises, pouvant être utilisées aussi bien par les sapeurs-pompiers que pour la conception d'installation.

Bien que mon travail de recherche initial ait été réalisé sans aucune influence de la part d'autres méthodes de calculs, le résultat est apparu étroitement lié et a été confirmé par les formules d'IOWA et du NFA, aux Etats Unis.

Ces deux formules abordent les besoins en eau de façon totalement différentes et aboutissent à de grands écarts de résultats en ce qui concerne les Needed Fire Flows (NFF – besoin en débit d'eau). Le liens avec ces formules peut donc sembler étonnant.

Cependant ma formule prend en compte aussi bien la phase gazeuse que la phase « solide » du feu (ce que peu d'autres formules réalisent), et représente donc une réponse plus générale aux exigences de débit dans le cadre de la lutte contre les incendies.

## **Débit critique (CFR) et tactiques (TFR)**

**Débit critique (CFR)** - Le CFR se réfère à « la quantité minimum d'eau (lpm) utile à la suppression complète d'un feu arrivé à un niveau donné de développement » par exemple pendant son développement, lors de sa croissance ou de régression. Le CFR calculé actuellement pour les feux de différentes tailles (m<sup>2</sup>), durant leurs différentes étapes, est très variable.

**Débit tactique (TFR)** – Si du point de vue théorique, cela revient à atteindre un débit critique, Sardqvist (1999) indique que cela n'offre pas la meilleure utilisation des ressources, puisque cela demanderait un temps d'extinction plus ou moins infini (*NdT*: *puisque dans ce cas l'absorption thermique est quasiment égale à la production*). Une augmentation du débit au-dessus de la valeur critique abouti à une diminution du volume total d'eau nécessaire pour contrôler le feu. Cependant, il existe un *débit optimal* donnant le volume total d'eau le plus petit. En dessous de ce débit, le volume total d'eau nécessaire augmente à nouveau. En termes pratiques cependant, une marge de sécurité, ou d'erreur, doit être prévue pour la mise en oeuvre de n'importe quelle tactique de lutte anti-incendie et cela prenant également en compte les méthodes de suppression de feu et de calcul de débit d'eau. Une augmentation du débit d'eau éteint généralement un feu plus rapidement. Cependant, il y a une limite supérieure de débit à utiliser, en fonction des

dimensions du sinistre, et des ressources disponibles sur place pendant les premières étapes de l'attaque. Pour moi, le *débit tactique* c'est le débit (lpm) destiné aux établissements d'attaque primaire. Ce raisonnement est basé sur une vaste recherche ainsi que sur des données empiriques touchant aux débits de lutte anti-incendie dans plusieurs pays. Le *débit tactique*, discuté dans ce texte est le débit nécessaire pour la suppression du feu pendant sa phase de croissance et de développement ou dans une situation de post-flashover, avant que la phase de régression n'ait commencé. Réaliser le contrôle du sinistre pendant les étapes de développement d'un compartiment en feu, doit toujours être un objectif opérationnel, plutôt que d'en réaliser le contrôle pendant les dernières étapes de régression, ceci afin de réduire les chances de propagation sérieuse ou de n'importe quel écroulement potentiel, en particulier lors d'approche faite par l'intérieure.

Le concept d'exigences de débit de lutte anti-incendie peut être théoriquement basé sur la correspondance entre le débit d'eau et le taux de chaleur dégagé (MW) dans des feux de compartiment. Cela peut aussi être empiriquement basé sur des charges de feux données, pour une surface au sol connu, sur lesquels, on applique un débit d'eau d'extinction suffisant pour leur extinction pendant leur phase de croissance ou de régression (dans ce dernier l'application est généralement défensive). Sur 16 années de projet recherche, j'ai employé les deux méthodes et les ai finalement combinés pour produire une formule de débit tactique dont la fiabilité est prouvée. Au-delà des débits critiques (donc de la quantité d'eau minimum nécessaire) le débit tactique intègre une marge de sécurité alors que le débit optimal traitera la plupart des feux de charge « normale » (par exemple un bureau) pendant leur phase de croissance et de développement, sans dégâts des eaux.

L'application d'eau sur les feux compartimentés de classe « A » en réalise l'extinction par la combinaison principale de trois mécanismes. L'influence de chaque mécanisme dans l'extinction complète du feu dépend de la méthode de distribution de l'eau. Ces mécanismes sont définis ci-dessus. Il doit être noté qu'il y a également ici des références provenant du National Fire Academy (NFA) et de l'Iowa (Royer/Nelson) sur les méthodes de détermination du débit idéal pour la lutte anti-incendie en structure. Cependant, ces formules et calculs s'appliquent seulement à une méthode simple de suppression du feu. NFA (attaque directe) et Iowa (l'attaque indirecte); tandis que le débit tactique (TFR) est proposé pour des approches spécifiques à l'attaque intérieure, et est ajusté pour convenir aux trois méthodes de suppression du feu discuté ci-dessus. Ces résultats de débit recommandé pour les établissements de tuyaux a été discuté plus loin. Bien que le TFR soit conçu avec une marge d'erreur et de sécurité il ne considère pas un établissement d'appui/soutien comme faisant partie de l'attaque primaire, comme le fait par contre le calcul NFA. Bien qu'une telle stratégie doive être mise en œuvre le plus rapidement possible, on voit généralement l'établissement d'appui comme une action secondaire et la rapidité de sa mise en place dépendra de la puissance des moyens (équipes) mis en œuvre dès le départ.

### **Vaporisateur d'eau, Brouillard ou Brume ? - Définitions**

L'utilisation de fines gouttelettes d'eau pour la suppression de la phase gazeuse a été étudiée pendant au moins 50 ans. Herterich a identifié un besoin logique de terminologie lors de discussions concernant les pulvérisateurs (embouts de pulvérisation) utilisés pour la lutte contre l'incendie, particulièrement quant à la taille caractéristique des gouttelettes. Les tailles moyennes de gouttelettes apparaissant comme étant les plus intéressantes en terme de lutte contre l'incendie, font partie d'une fourchette comprise entre 100 et 1000 µm (0,1 - 1 mm). La gamme de taille de gouttes comprend cinq catégories :

Colloïdal	en dessous de 1µm	apparaissant comme de la fumée
Poussière	entre 1 et 10 µm	apparaissant comme de l'embrun
Fine	entre 10 et 100 µm	apparaissant comme un nuage, une bruine
Moyenne	entre 100 et 1000 µm	apparaissant comme de la pluie fine
Grossière	entre 1000 et 10 000 µm	apparaissant comme de grossière gouttelettes

En termes de lutte contre l'incendie, la taille d'une gouttelette individuelle (ou une moyenne des tailles de gouttelettes) est d'une grande importance lorsque l'on discute des autres propriétés du brouillard, entre autres parce que la résistance offerte par l'air environnant à la progression des gouttelettes est proportionnelle à leur diamètre. Par conséquent, la puissance de déplacement, ou la pénétration du spray dépend fortement de la distribution de la taille des gouttelettes. L'efficacité du transfert thermique aux gouttelettes d'eau est fondamentale à leur utilisation dans les applications de lutte contre l'incendie, et dépend également de la géométrie des gouttelettes et en particulier du rapport de la surface totale du spray à son volume, l'accroissement de ce rapport étant bénéfique car il favorise l'absorption rapide de la chaleur environnante et l'évaporation des gouttelettes. La pénétration pratique obtenue pour un ajustage particulier, est régie par l'importance relative à l'énergie cinétique initiale du liquide, et au degré de résistance aérodynamique offert par les gaz environnants.

En pareilles circonstances, la pénétration offerte par le diffusé d'une tête de lance est beaucoup plus grande que pour une gouttelette individuelle, puisque les principales gouttes communiquent un élan de progression aux gaz environnant, réduisant la traînée d'air sur les gouttes suivantes et créant de ce fait une « voie » pour elles, ayant pour résultat une meilleure pénétration globale. Il y a de plus en plus de recherches réalisées sur cette interaction entre les gouttelettes d'eau et la flamme.

Ces travaux (1) suggèrent qu'il existe une valeur critique de dégagement de chaleur, pour laquelle une certaine taille de goutte ne contribuerait pas à l'extinction, car elle serait incapable d'atteindre la zone à refroidir.

### **Gouttelettes optimales et jets haute « vitesse »**

La conférence annuelle BFRL sur les recherches associées au feu (1998) a produit un article intéressant (NIST) de Alageel, Ewan et Swithenbank - Université de Sheffield Royaume Uni – intitulé « The Mitigation of Compartment Jet Fires Using Water Spray ». L'objectif principal de l'étude était d'étudier l'interaction des brouillards d'eau sur une colonne de feu frappant le plafond, dans un état de ventilation commandée. Une grande attention était portée sur l'efficacité des différents angles de jet, le diamètre des gouttelettes, la vitesse de jet et le débit d'eau.

Il a été observé que les applications d'eau dans les couches de gaz utilisant différents angles de jet de 30, 60, 75, 90, 120, 135 et 150 degrés produisaient des réductions variables de températures dans le compartiment, mais se sont les cônes de jet avec des valeurs de 60 à 75° qui se sont avérés les plus efficaces pour réduire la température globale. Pour ces angles, la limitation est liée à l'efficacité de pénétration de la flamme, qui montre qu'il est nécessaire d'avoir des vitesses de jet supérieures à 18 m/s (40 km/h).

Les diamètres de gouttelettes de 100 à 600 µm ont été analysés. Il a été noté que les gouttelettes de l'ordre de 300 µm (0,3 mm) ont eu un effet de refroidissement maximal du compartiment.

En terme de débit il a été constaté que pour les dimensions du local (environ 115m<sup>2</sup>), le débit le plus efficace (pour la suppression du feu en phase gazeuse), se situait aux alentours de 113 lpm, avec un spray composé essentiellement de gouttelettes de 0,3 mm de diamètre. Ce résultat concorde avec le principe « 1 litre pour 1 m<sup>2</sup> », et concorde également avec les résultats des recherches de Svensson et Sardqvist détaillées ci-dessous, relatives au calcul de débit critique( CFR – Critical Flow rate). La notion de « plus efficace » semble concorder avec la notion de CFR mais ne doit pas être confondue avec la notion de débit optimal, particulièrement dans le cadre de l'attaque de feu en phase de combustible « solide ».

Rabash a essayé d'estimer le transfert thermique entre la flamme et les vaporisateurs d'eau (embouts de pulvérisation / ajustage) et a produit une courbe du taux de transfert de convection en fonction de la vitesse des gouttes, pour des tailles de gouttes comprises entre 50 microns et 2 mm et pour une température de flamme supposée de 1000°C. En général, il a été établi qu'il fallait une vitesse élevée pour un petit diamètre de goutte afin d'augmenter le taux de transfert de chaleur. Par exemple, une goutte de 2 mm à 0,07 m/s (vitesse terminale dans l'air) a produit un taux de transfert de thermique de 167 kW/m<sup>2</sup> tandis que la même goutte se déplaçant à 2 m/s a permis un transfert de 293 kW/m<sup>2</sup>. Pour une goutte de 50

micron à une vitesse de 0,01 m/s et 0,5 m/s le taux de transfert de chaleur correspondant étaient respectivement de 1,7 MW/m<sup>2</sup> et 2,5 MW/m<sup>2</sup>. C'est cette application de fines gouttelettes d'eau à haute vitesse que produisent les systèmes haute pression avec tuyaux rigides sur dévidoir de 25mm de diamètre, très efficace dans la phase gazeuse. Une évaluation de la pénétration des gouttelettes a aussi été étudiée et il a été noté que les gouttes plus grosses étaient capables de pénétrer plus loin dans la flamme avant que leur évaporation complète ne soit produite.

### Gestion de la combustion durant la phase gazeuse

Lorsque de l'eau en spray passe au travers des gaz chauds, des transferts de chaleur se produisent avec les gouttelettes, et l'eau s'évapore. Comme nous avons vu ci-dessus, l'évaporation dépend en grande partie du diamètre des gouttelettes, de la température et des propriétés de transport (la vitesse, etc).

- Des vaporisateurs composés de petites gouttelettes présentent une plus grande superficie de contact par rapport à leur volume ce qui induit un réchauffement et donc une évaporation plus rapide, absorbant par conséquent plus de chaleur. De petites gouttelettes s'évaporeront rapidement et concentreront leur effet suppressif sur la combustion durant la phase du gazeuse.
- De grosses gouttelettes ne s'évaporeront pas entièrement en passant par la flamme et les gaz chauds, à moins que la base des flammes ne soit très éloignée, ce qui n'est habituellement pas le cas dans des feux d'appartement. Au lieu de cela, ces gouttelettes traverseront la flamme et entreront en collision avec le matériel brûlant, ou d'autres surfaces surchauffées, causant une diminution de la pyrolyse.

Quand les gouttelettes d'eau traversent la phase gazeuse d'un feu, il y a un transfert important de masse et de chaleur entre les gouttelettes et le gaz chaud. Il y a aussi un effet de « traînée » sur les gouttelettes, qui affecte leur vitesse et leur trajectoire. Tous ces facteurs affectent la capacité des gouttelettes à absorber la chaleur des gaz. Les flammes et les courants de convection dans un lieu clos ont également un effet dominant sur le mouvement des gouttelettes. Lorsqu'elles sont trop petites (au-dessous de 0.1mm), les gouttelettes peuvent être simplement emportées avant qu'elles ne soient capables d'avoir un grand effet de rafraîchissement.

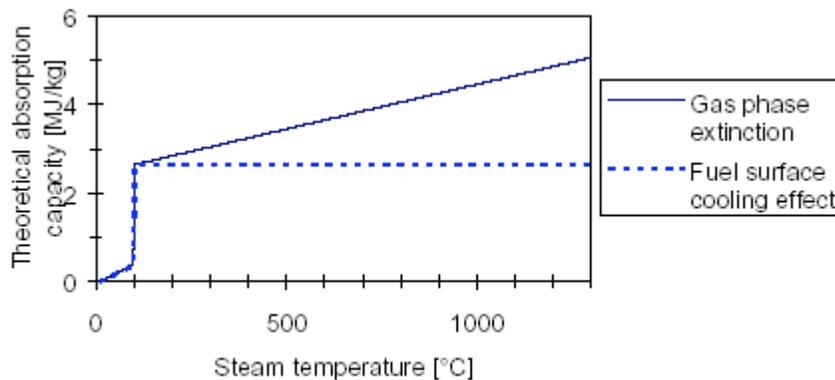


Fig 1. Capacité théorique d'absorption de l'eau dans le refroidissement de la phase gazeuse et dans le refroidissement des surfaces. (Steam température = température de la vapeur)

Il existe une profusion de recherches scientifiques et empiriques qui essaient de définir la taille de gouttelette idéale pour l'utilisation en application manuelle dans la lutte anti-incendie. Le consensus général admet que les gouttelettes placées dans la gamme moyenne de 0.2 à 0.4mm de diamètre fournissent le meilleur effet en termes de refroidissement de la phase gazeuse « 3D », la dilution et la suppression. Les diamètres moyens de gouttelettes trouvés dans la plupart des modèles de sprays fournis par les diffuseurs en jet diffusé/ jet droits dans le monde, lorsqu'il fonctionne à 7 bars (à la lance),

se trouvent généralement dans la plage de 0.4 mm à 1.0 mm. Lorsque la pression à la lance et les vitesses de propulsion d'eau sont augmentées, le diamètre moyen des gouttelettes diminue en se rapprochant d'un diamètre idéal de 0.3 mm. Des pressions plus importantes à l'ajutage des diffuseurs, associées à des systèmes de tuyaux rigide sur dévidoir de 25mm HP produisent des brouillards plus efficace que les systèmes basse pression utilisant les tuyaux souples, et débitant plus d'eau. La répartition des gouttelettes de dimensions proches de 0.2mm, associée a une vitesse plus importante, délivrée par les systèmes de tuyaux rigides sur dévidoir de 25mm HP, améliore la performance de l'extinction conformément aux recherches de Svensson et Sardvqist décrites plus loin.

Des pressions beaucoup moins élevées au diffuseur et de faibles vitesses, mises en oeuvre avec des tuyaux rigides sur dévidoir de 19mm de diamètre, produisent généralement des gouttelettes dans la gamme de 0.4 à 1.0mm de diamètre et la performance d'extinction n'est donc pas bonne, avec de faibles débits (*NdT : en France, cas de la LDT*). Bien qu'en général, des gouttelettes plus petites soient sans aucun doute plus efficaces dans la phase gazeuse, les gouttelettes légèrement plus grandes sont capables d'atteindre et de rafraîchir plus efficacement les surfaces de combustible en feu et celles en passe de le devenir, empêchant ainsi leur échauffement rapide et l'ignition des gaz de combustion. Durant une série d'essais, l'observation a montré que, lorsqu'elles étaient déchargées dans la phase gazeuse, de plus grandes gouttelettes rafraîchissaient plus efficacement les murs environnants:

- . des gouttelettes de 0.3mm abaissent la température d'un mur de 57 °C en deux minutes
- . des gouttelettes 0.7mm abaissent la température d'un mur de 124 °C en deux minutes
- . des gouttelettes 0.8mm abaissent la température d'un mur de 195 °C en deux minutes

Cette observation a démontré et confirmé quelques points intéressants :

- on obtient un meilleur refroidissement sur un mur en appliquant des gouttelettes de grosses tailles
- on obtient un meilleur refroidissement de la phase gazeuse en appliquant des gouttelettes de plus petite tailles
- l'application de plus grosses gouttelettes cause *plus d'évaporation* (expansion de la vapeur) sur les murs, mais *moins d'évaporation* (et de contraction) dans les gaz. Ce déséquilibre est généralement indésirable et sert de prétexte à ceux qui sont contre la tactique de brouillard d'eau et qui ont parfois été brûlés à la vapeur suite à des applications d'eau réalisées de façons trop précipitées.

Le Conseil de Recherche National (NRC) du Canada a présenté quelques données de recherche (12) intéressantes :

La performance de la stratégie d'attaque en brouillard d'eau 3D est généralement déterminée par les caractéristiques du diffuseur (par exemple : taille des gouttelettes, vitesse, angle de vaporisateur et débit) et par les techniques d'application (angle et durée de décharge).

Lors de l'utilisation de la technique de brouillard d'eau 3D (dans la phase gazeuse), le réglage du diffuseur et la technique d'application diffèrent de celles employées dans les méthodes d'attaques directes et indirectes. Dans la théorie, de petites gouttelettes sont plus efficaces dans le refroidissement et la dilution des gaz que de grosses gouttelettes, à cause de la plus grande superficie totale disponible pour l'extraction de la chaleur et l'évaporation. Quand le diamètre de gouttelette est réduit de 1.0mm (1000µm) à 0.1mm (100µm), la superficie totale augmente de 10 fois : de 6 m<sup>2</sup> on passe à 60 m<sup>2</sup> pour 1 litre d'eau. Cependant, dans certains cas, les gouttelettes peuvent être si petites qu'elles sont entraînées par les courants de convection avant qu'elles ne soient capables de participer efficacement à n'importe quel processus de refroidissement.

L'efficacité de refroidissement d'un spray d'eau pour des gaz chauds est aussi déterminée par le temps de séjours des gouttelettes disponibles pour l'absorption de la chaleur du gaz. Plus ce temps est important, meilleur sera l'efficacité de ce refroidissement. Le temps de séjour des divers tailles de gouttelette peut être évalué approximativement en « pulsant » une brève décharge de brouillard d'eau dans l'air. On peut considérer qu'un brouillard efficace et adapté à une application 3D, déchargera une gamme de gouttelettes restant visibles dans l'air pendant environ 4 à 6 secondes avant de retomber.

$\Delta T$ (°C)	100 (µm)	200 (µm)	300 (µm)	500 (µm)	1000 (µm)
200	0.8 s	1.6 s	2.4 s	4.0 s	8.0 s
300	0.533 s	1.06 s	1.6 s	2.66 s	5.33 s
400	0.4 s	0.8 s	1.2 s	2.0 s	4.0 s
600	0.26 s	0.52 s	0.78 s	1.3 s	2.6 s
800	0.2 s	0.4 s	0.6 s	1.0 s	2.0 s
1000	0.16 s	0.32 s	0.48 s	0.8 s	1.6 s

Table 3 – Durée de « vie » (en secondes) des gouttelettes, en fonction de leur diamètre et de la température (National Research Council Canada 2002)

Cela représentera le modèle de brouillard « typique » constitué d'une gamme de gouttelettes compris entre 0.2 et 0.4mm (pour des débits de lutte anti-incendie avec des lances à main). En présence d'un feu, ce temps de séjour réel des gouttelettes est relatif à la température des gaz et la taille des gouttelettes (table 3). Par exemple, des gouttelettes de 1.0 mm (1000µm) passant dans une couche supérieure de gaz chauffée à 600°C existeront pendant 2.6 secondes (table 3) avant leur évaporation complète. Dans de petits compartiments les plus grosses gouttelettes atteindront les murs de séparation, le plafond, les faux-plafonds etc. causant un excès de vapeur. Dans des compartiments plus grands, les gouttelettes plus petites s'évaporeront à quelques mètres du diffuseur et l'effet sera perdu. Il est donc essentiel de comprendre les variables de classement par taille de gouttelettes et le débit dans les compartiments dont les dimensions vont jusqu'à 70m<sup>2</sup>, puis au-delà.

Quel est le volume d'eau contenu dans « une impulsion » ou « salve » d'un diffuseur, en application 3D ? Cela dépend du débit, mais également du temps d'ouverture de la lance (boisseau) et de la qualité de cette ouverture. Une « impulsion » de diffuseur, ou un « éclat », peut varier entre court, moyen et long selon la durée. L'impulsion d'eau la plus brève d'un diffuseur partiellement ouvert peut être de juste la moitié d'une seconde et décharger autour de 0.2 litres d'eau dans l'air – soit une tasse d'eau ! Un éclat de trois secondes d'une décharge de diffuseur entièrement ouverte à 570 lpm pourrait placer sous forme de gouttelettes environ 28 litres d'eau dans l'air. La différence est évidente. Le porte lance doit donc être formé pour « lire le feu » et ajuster correctement ses applications de brouillard d'eau 3D, afin d'être en adéquation avec chaque situation spécifique, tout en évitant l'utilisation excessive de brouillard d'eau.

NdT : voir le document « La lecture du feu » disponible sur <http://www.flashover.fr>.

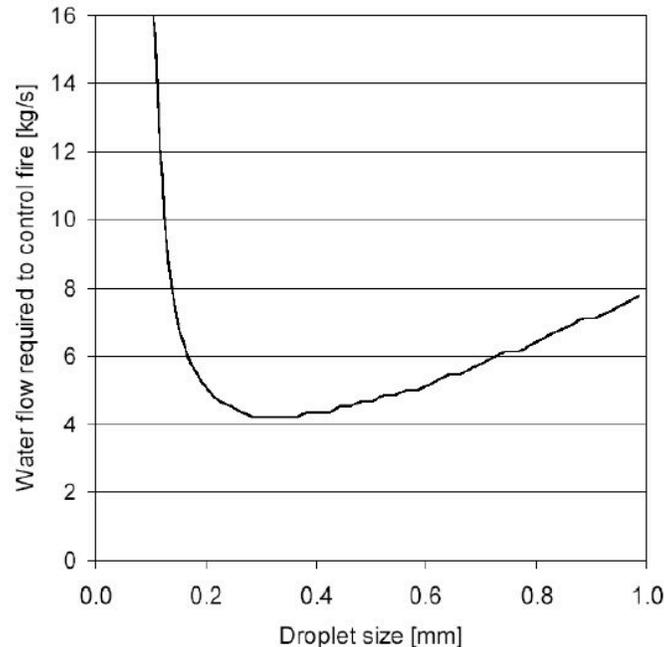


Fig 2 – Svensson et Sardqvist (Université de Lund, Suède), ont utilisé un modèle informatique (FDM-Fire Demand Model), de Piertzak et Dale, NIST-USA, pour démontrer la relation entre le besoin en eau (débit nécessaire pour le contrôle du feu) et la taille des gouttelettes (Droplet size), durant le test sur feu réel réalisé dans le compartiment de 60m<sup>2</sup> décrit précédemment. Lorsque le diamètre des gouttelettes ré-augmente après 0,4mm, le besoin en eau augmente également (Fire test in a large hall. Svensson & Sardqvist. LUTVDG-TVBB-1025-SE – Lund University Sweden 2002).

### **Tuyaux haute pression sur dévidoir contre établissement d'attaque en tuyaux souple basse pression**

Il existe quelques recherches détaillées comparant l'utilisation des systèmes de tuyaux rigides haute pression sur dévidoir (35 bar à la pompe) et les systèmes de tuyaux souples basse pression (7 bars à la lance). Les systèmes de dévidoir haute pression ont les avantages suivants : ils sont extrêmement légers, faciles à manoeuvrer et rapidement déployés, bien qu'ils soient généralement limités, par les pertes de charges, à une longueur d'établissement maximum de 60 m. Ils sont également efficaces en termes d'économie d'eau, surtout dans le cadre des secours initiaux mis en place à l'arrivée sur les lieux et pendant les étapes d'attaque initiales du feu. Cependant, les tuyaux de 19 mm sur dévidoir, avec bas débit et haute pression, ont fait l'objet de nombreuses critiques durant les années passés, et leurs performances ont été remises en question.

Il est très intéressant de noter que le tuyau d'un diamètre juste supérieur, (25mm) à haute pression sur dévidoir est capable quant à lui de dépasser les 340 lpm fournis par les établissements en tuyaux souple de 38 mm basse pression. Svensson et Sardqvist ont réalisés quelques essais sur des feux de compartiment très intenses pour démontrer que 50 % du débit (en lpm) d'un tuyau de 25mm de diamètre haute pression sur dévidoir est potentiellement deux fois plus efficace, comparé au tuyau de 38mm souple basse pression, lorsque l'eau est appliqué manuellement durant la phase gazeuse, en employant des applications par «jet pulsés ».

Une série d'essais a permis de comparer les techniques d'attaque, dans un simulateur flashover de 12 × 5 × 2.5 m avec une ouverture de 2.5 × 1.1m et une charge de combustible d'approximativement 18m<sup>2</sup> de panneaux d'aggloméré de 18 mm d'épaisseur, placés sur les murs et au plafond, au fond de la pièce. Le tuyau de 25mm à 175 lpm haute pression sur dévidoir s'est avéré beaucoup plus efficace pour traiter le feu dans sa phase gazeuse, que le tuyau souple de 38mm à 340 lpm avec 7 bar à la lance, ceci en utilisant des techniques de « pulsing » (brève impulsion d'attaque).

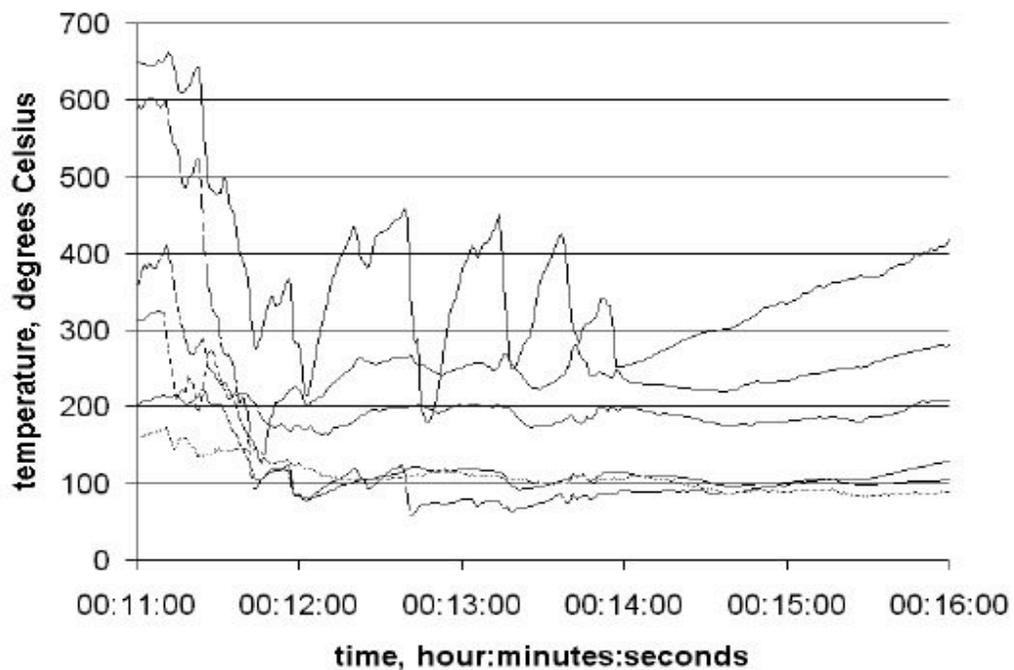


Fig-3. Lance haute pression sur tuyaux de 25mm, avec un débit de 175lpm, avec utilisation de jets « pulsés » avec gouttelettes de 0,2mm. « Pulses » de 0,5 à 2 secondes, montrant une diminution de la température de la couche chaude de près de 50% (6 points de relevés de températures dans la couche). Svensson & Sardqvist. LUTVDG-TVBB-1025-SE – Lund University Sweden 2002.

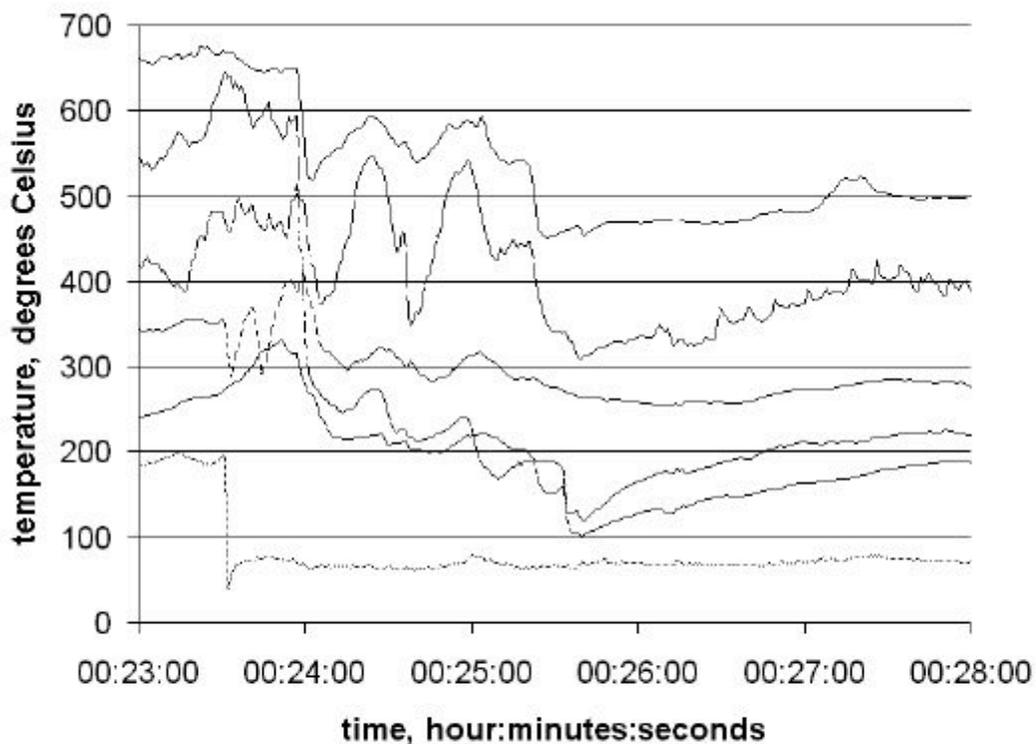


Fig 4. Lance basse pression sur tuyaux souples de 38mm, avec un débit de 340lpm, avec des gouttelettes de 0,7 mm, avec application de jets pulsés dans la couche gazeuse, impulsion de 0,5 à 2 secondes, montrant l'incapacité de réduire effectivement la

Dans une autre série de tests sur feux réels, Svensson et Sardqvist ont continué à comparer les effets des tuyaux rigides de 25mm haute pression sur dévidoir contre des établissements de tuyaux souples de 38mm basse pression afin d'aborder des situations impliquant de plus grands feux, sur la phase gazeuse et sur la phase de combustible elle-même. Les essais ont été effectués dans une pièce mesurant 14.0 x 7.7 x 6.3m de hauteur. Le combustible dans chaque essai était composé de 78 palettes en bois arrangées en 6 piles de 13 palettes pour chaque pile.

La perte de poids du combustible, la température du gaz, le flux de chaleur et la pression de la pièce ont été mesurés, ainsi que des données associées aux effets physiologiques liées au stress sur les sapeurs-pompier évoluant dans ce milieu chaud. Deux diffuseurs (lances) différentes ont été utilisées : lance basse pression Protek style #366 et la lance haute-pression AKRON style 751. Les pressions aux lances étaient de 7 bar (pour la basse pression) et 25 bar (pour la haute pression) et les débits étaient de 113, 226 et 340 lpm. L'extinction a été exécutée manuellement et il a été demandé aux sapeurs-pompier d'agir de la même manière dans les différents tests. Ce sont les deux même sapeurs-pompier, tous deux parfaitement entraînés, qui ont participé à tous les essais. Ils avaient la même mission à chaque essai. Le trajet d'attaque passait par la porte, il fallait ensuite s'avancer dans la pièce en parallèle à la protection de radiation, et ensuite tourner à gauche en avançant directement vers le feu le long de la ligne médiane de la pièce. Au niveau du premier radiomètre (S2), un petit coup de spray à 45° en partie haute a été exécuté pour refroidir la phase gazeuse en feu. A trois mètres du feu, au niveau du second radiomètre (S1), les sapeurs-pompier ont interrompu les spray et ont commencé à travailler sur la surface combustible (feu 2D) des piles de palettes en bois.

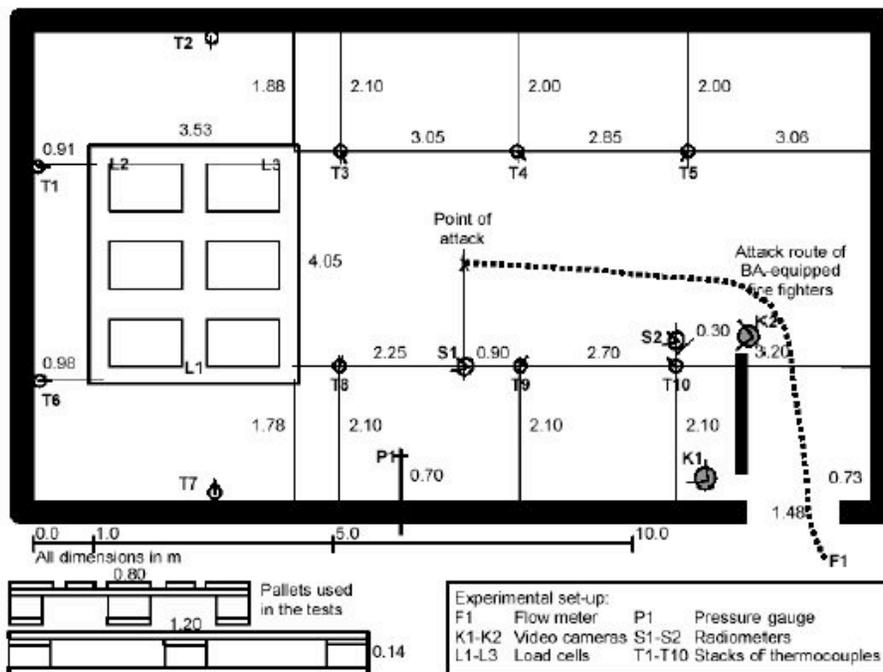


Figure 5 - The test set-up for the second series of tests in a 100m<sup>2</sup> compartment (Svensson & Sardqvist) - Svensson & Sardqvist Report LUTVDG-TVBB-1025-SE Lund University Sweden 2002.

En considérant :

- a) les effets de refroidissement de la surface du combustible (Feu 2D)
- b) les effets d'extinction de phase gaz (3D),

le système de dévidoir haute pression de 25 mm s'est avéré avoir une meilleure capacité d'extinction par unité de masse d'eau que le système de tuyau souple basse pression de 38mm. En considérant les effets de refroidissement de la surface du combustible, le système de 25mm haute pression, à un débit de 226lpm, était aussi efficace que le système basse pression à 340 lpm. L'effet de refroidissement de la phase gazeuse avec le système « haute pression » à son débit le plus bas était plus efficace que le système basse pression quelque soit son débit. Lorsque la stabilisation de la combustion a été atteinte, le système haute pression à 113 lpm a stabilisé la température du gaz dans la pièce à la même température que lorsque le système à basse pression a été employé à 226 et 340lpm.

Dans ces conditions d'essai, le système haute pression à **besoin (seulement) d'environ deux tiers de l'eau nécessaire au système basse pression pour la même capacité d'extinction**. Le débit de 113 lpm était, cependant, insuffisant pour atteindre le critère de contrôle (dans les 6 minutes) du foyer principal, critère basé sur la notion de perte de masse du combustible. À 226 lpm, les deux systèmes étaient capables d'atteindre le critère de contrôle. Ces feux étaient de violents feux de compartiments présentant un taux moyen de combustion de 5 gm<sup>2</sup>/s (gramme par mètre carré, perdu en 1 seconde), et dont le dégagement de chaleur a été estimé à environ 16 MW.

Test	Water spray characteristics			Water required to control the fire			
	Pump pressure [bar]	Nozzle pressure [bar]	Nominal flow [kg/s]	Time [s]	Total mass [kg]	Norm. Mean flow [kg/m <sup>2</sup> s]	Norm. total mass [kg/m <sup>2</sup> ]
1	7.0	6.0 ± 0.5	3.83	*	*	*	*
2	39	25 ± 5	3.83	210	253	0.00608	1.28
3	7.0	6.0 ± 0.5	3.83	240	286	0.00693	1.66
4	5.2	4.5 ± 0.5	1.92	360 **	303 **	0.00479	1.76 **
5	35	23 ± 5	1.92	360 **	255 **	0.00404	1.48 **
6	8.0	7.0 ± 0.5	5.75	130	152	0.00680	0.88
<b>Water used overall during attack</b>							
Test	Total mass [kg]	Mean flow [kg/s]	Number of sweeps [-]	Mass per sweep [kg]	Capacity used [-]		
1	83	1.52	8	10.4	0.40		
2	694	1.46	62	11.2	0.38		
3	692	1.26	42	16.5	0.33		
4	298	0.843	26	11.5	0.44		
5	284	0.708	28	10.2	0.37		
6	755	1.50	35	21.6	0.26		

\* Test halted after initial attack.

\*\* Did not reach the control criterion within six minutes.

Figure 4 - Amounts of water used during the tests - Svensson & Sardqvist Report LUTVDG/TVBB-1025-SE Lund University Sweden 2002.

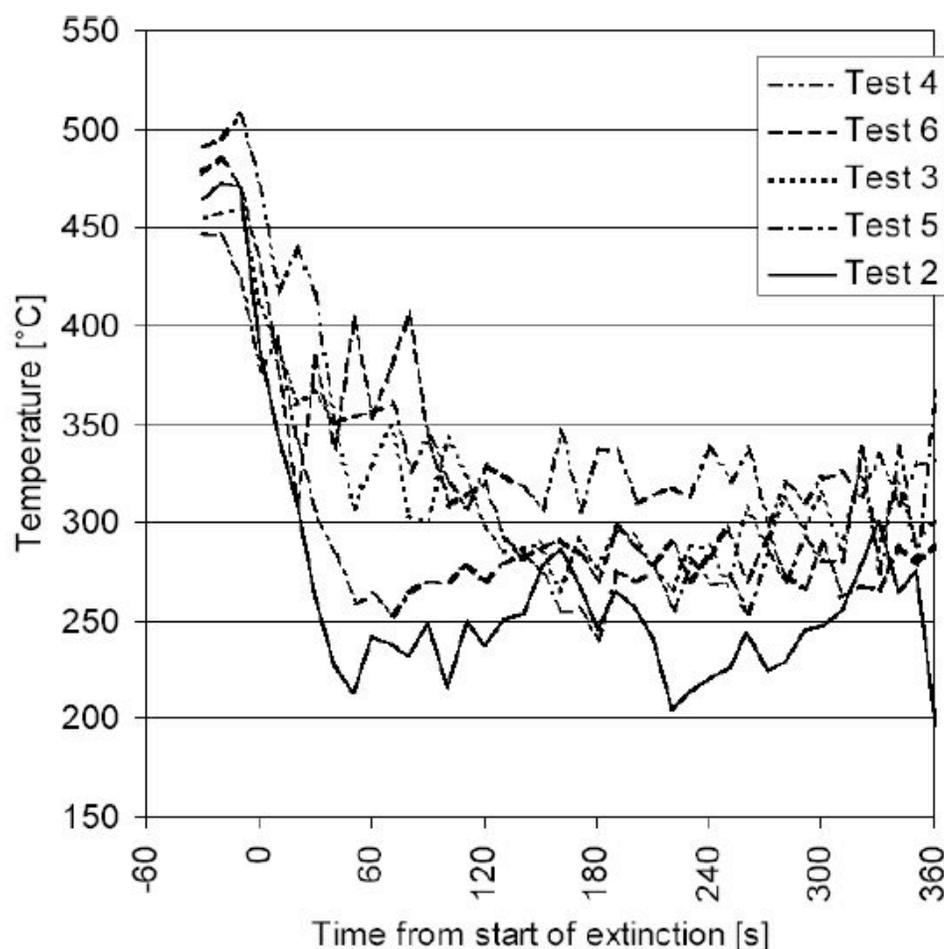


Fig 6. La moyenne des températures de la couche gazeuse monte clairement le plus grand refroidissement obtenu dans les essais 2 et 5 (établissement de 25mm sur dévidoir, avec lance haute-pression), cependant que le débit de 113lpm dans le test 5 a été incapable d'obtenir le contrôle du combustible dans le critère de temps imposé (6 minutes). Svensson & Sardqvist. LUTVDG-TVBB-1025-SE – Lund University Sweden 2002.

### La recherche de Débit Critique

Il se peut qu'un tuyau rigide de 25 mm « à haute pression » sur dévidoir offre des avantages par rapport aux tuyaux de 38mm souple « basse pression », dans des situations d'attaque limitées (80 % des feux) pour traiter la combustion, en phase gazeuse (3D) et en phase de combustible (2D), où lorsque le déploiement tactique rapide d'un établissement travaillant avec une quantité d'eau limitée est nécessaire.

Cependant, le concept de débit critique (CFR) est très important lors du traitement des feux intenses, et pendant le déploiement de débits d'attaque directes, destinés à éteindre les grands feux. Lorsqu'un feu a un potentiel de développement rapide et s'intensifie au-delà des limitations d'un débit de 226 lpm fourni en haute pression sur dévidoir, des quantités d'eau supplémentaires deviennent nécessaires pour l'extinction. En complément, des concepts tactiques comme l'établissement anticipé de tuyaux d'appui secondaires, en particulier dans des situations comme des feux de sous-sol, doivent être une des premières préoccupations.

En 1999 Sardqvist a indiqué que le taux minimum d'application d'eau pour l'extinction directe, basée sur des expériences employant du bois comme combustible, était de 0.02kg/m<sup>2</sup> par seconde. Si vous

considérez un compartiment de 100m<sup>2</sup> (10x10m) cela équivaut à un débit minimum de 120lpm pour une telle surface avec du bois comme charge combustible. Ce qui est intéressant, c'est que la superficie de 100m<sup>2</sup> est approximativement égale aux dimensions de la pièce employée par Svensson et Sardqvist dans les scénarios d'essai ci-dessus, et bien que la pièce n'ait pas été entièrement impliquée par le feu, la concentration du feu équivalait à un feu de dimensions semblables à une pièce entièrement impliquée. Le débit de 113lpm n'a pas été suffisant pour atteindre (en 6 minutes) le critère de contrôle complet du feu, ce critère étant fonction de la perte de masse du combustible. Cependant, avec ce débit moyen, les feux auraient certainement été contrôlés avec un peu plus de temps. C'est le principe du débit critique, fonctionnant juste dans ses limites.

Cependant, le débit critique (CFR) va probablement être beaucoup plus important pour des feux « réels » pour lesquels la charge du feu est bien supérieure à celle fournie par des combustibles simples tels que le bois. Nous pourrions dire que le vrai CFR dans un feu d'appartement peut-être au moins le double de ce qui a été estimé par Sardqvist pour des combustibles ordinaires tel que le bois, et que 0.04kg/m<sup>2</sup> par seconde pourrait être une évaluation plus fiable. Cela équivaut à un débit de lutte anti-incendie minimum de 226 lpm en fonctionnant sur un mode d'attaque direct pour un feu de 100m<sup>2</sup>. Stolp (1976) (Bib 3.16) a suggéré que le CFR (le débit minimum) pour un feu de compartiment de 100m<sup>2</sup> était d'environ 200 lpm.

Quel est exactement le débit *optimal* pour la lutte anti-incendie en structure sur lequel Sardqvist se réfère dans le cadre de sa recherche, c'est à dire le débit dépassant juste le CFR, tout en fournissant la masse d'eau la plus faible pour l'extinction ? Une étude de Rasbash (1985) sur la flamme de diffusion a montré que la suppression de 30 à 35 % de l'énergie lié au dégagement de chaleur d'une flamme de diffusion est généralement suffisante pour éteindre le feu.

La recherche menée par Sardqvist (1998) sur les débits réels employés lors de 307 feux impliquant des constructions non résidentielles à Londres, a permis de constater que la plupart des feux avaient été éteints avec un débit maximum de 600 lpm et que 75 % de ces feux ne s'étaient pas propagés après l'arrivée de pompiers. Ses études ont aussi montré qu'un très petit pourcentage de feux structurels (dans l'étude) excédaient 100m<sup>2</sup>, exigeant ainsi moins de 30 sapeurs-pompiers pour traiter la majorité de l'intervention.

Il doit être noté ici que l'auteur pense que les conclusions finales de Sardqvist sur le débit ont été considérablement surestimées en raison du fait que ses calculs dépendent des valeurs de débit de diffuseur (lance) donnés par le SRDB (Bureau de la Recherche Scientifique et de la Succursale du Développement), valeurs employées dans sa recherche.

Or les codes du SRDB n'ont jamais été destinés à représenter des capacités de débit opérationnel pratique. Par exemple, le calcul employé pour de grands établissements (surtout 45 mm mais quelques fois 70 mm de tuyau) abouti à un débit de 870 lpm.

En réalité, les facteurs liés au débit et la réaction excessive des lances (le recul) associés à de tels débit au travers d'établissement de 12,5mm, 19mm et 25mm (utilisé au moment où les codes du SRDB ont été créés), aurait dû empêcher l'emploi de tels débits lors des opérations, excepté quelques rares cas de défenses réalisées depuis l'extérieur.

Une étude similaire menée en Nouvelle-Zélande par Beever et Davy (17), a émis l'hypothèse que 87% des 290 feux de structures ayant été étudiés, ont été éteints avec un débit de 600lpm, ou moins.

Dans les feux étudiés dans cette même étude, seuls 3% ont nécessité des débits plus importants. En 1999, les recherches de Peterson, menées aux USA, sont arrivés à la conclusion que les sapeurs-pompiers n'avaient que 50% de chance d'éviter la perte totale d'un local ou d'une structure en feu, dès que le feu atteignait une surface de 86m<sup>2</sup>.

Paramètre	Moyenne	Dérivation	Nbr de cas
Du préchauffage à l'inflammation (min.)	44,9	118,3	50
De l'inflammation à la découverte (min.)	9,1	15,0	116
De la découverte à l'arrivée des secours (min.)	8,4	13,0	271
De l'arrivée au début de l'intervention (min.)	2,0	2,8	153

Du début d'intervention à l'arrêt de propagation (min.)	7,4	25,1	152
De l'arrêt de propagation à la maîtrise du feu (min.)	13,3	87,8	238
De la maîtrise à l'extinction totale (min.)	40,3	203,5	236
Surface à la découverte du feu (m <sup>2</sup> )	3,2	7,3	269
Surface à l'arrivée du premier sapeur-pompier (m <sup>2</sup> )	10,0	47,3	299
Surface totale attaquée par le feu (m <sup>2</sup> )	24,0	113,4	300

Table 5. Moyenne et dériviation standard des paramètres et nombre de feux concernés, à partir de l'étude de 307 feux sur le secteur de Londres (Read Fire Data. London 1994-1997, Stefan Sardqvist 1998. Report 7003 Lund University Sweden).

Il a été indiqué que les équipes incendie pouvaient, à certaines occasions, utiliser jusqu'à 100 fois plus d'eau que ce qui est théoriquement exigée. Les grands feux sont particulièrement concernés, les corrélations entre les valeurs x-x et y-y de la figure 7 (ci-dessous) sont pertinents. On peut voir que les débits de lutte anti-incendie « réellement utilisés », sur grande structure dans les années 1950 et les années 1960, étaient de plus de 1 700 lpm dans des compartiments ou des espaces d'environ 93m<sup>2</sup>.

Si nous considérons la différence entre une opération offensive et défensive, il se peut que les plus grands feux ne soient pas éteints par une opération offensive, mais plutôt par une approche défensive. Cela mène à une utilisation d'eau beaucoup moins importante. Il peut y avoir des cas où le feu est simplement retenu dans ses limites et n'a plus de combustible après environ deux heures.

*NdT :* il est intéressant de rappeler que la disponibilité en eaux des points d'eau, est encore réglementée en France par la directive de décembre 1951, qui prévoit un besoin en eau de 60m<sup>3</sup>/heure pendant deux heures, donc un besoin en eau de 120m<sup>3</sup>.

En 1990, comme investigateur à la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Londres, j'ai entrepris une vaste recherche sur les débits utilisés sur 120 feux à Londres et aux Etats-Unis et j'ai noté que beaucoup de grands feux avaient été éteints pendant leur phase de régression. C'était particulièrement évident dans une série de plusieurs feux importants sur lesquels j'avais fait des recherches dans les années 1980-1990 aux Etats Unis et au Royaume-Uni, avec des débits d'environ 113 – 190 lpm par superficie de 100m<sup>2</sup> au sol, alors que cela suffisait pour attaquer plusieurs étages en feu! Les feux ont été éteints, mais pas sans quelques efforts étonnants. Les étages en feu eux-mêmes ont semblé avoir consommé la plupart du combustible disponible et au final l'extinction était généralement réalisée pendant la phase de régression, (l'usage du CFR – Critical Flow Rate – durant la phase de développement n'a pas été atteint) alors que tous les efforts étaient fait pour empêcher la propagation aux étages supérieurs. Ma recherche a aussi déterminée que des débits proches (113 – 380 lpm par 100m<sup>2</sup>) ont été employés (souvent avec succès, lors de la phase de croissance des feux) pour supprimer une centaine de feux qui ce sont produits à Londres sur une période de six semaines en 1990. Ces données confirmeraient d'autres recherches qui ont suivis (Barnett 1994) et pourraient déterminer que le recoupement entre l'extinction lors de la phase de régression, par opposition à la phase de croissance, existe quelque part entre 226 et 380 lpm par 100m<sup>2</sup> de surface impliquée par le feu. Le débit optimum auquel Sardqvist se réfère est probablement placé quelque part dans les mêmes valeurs.

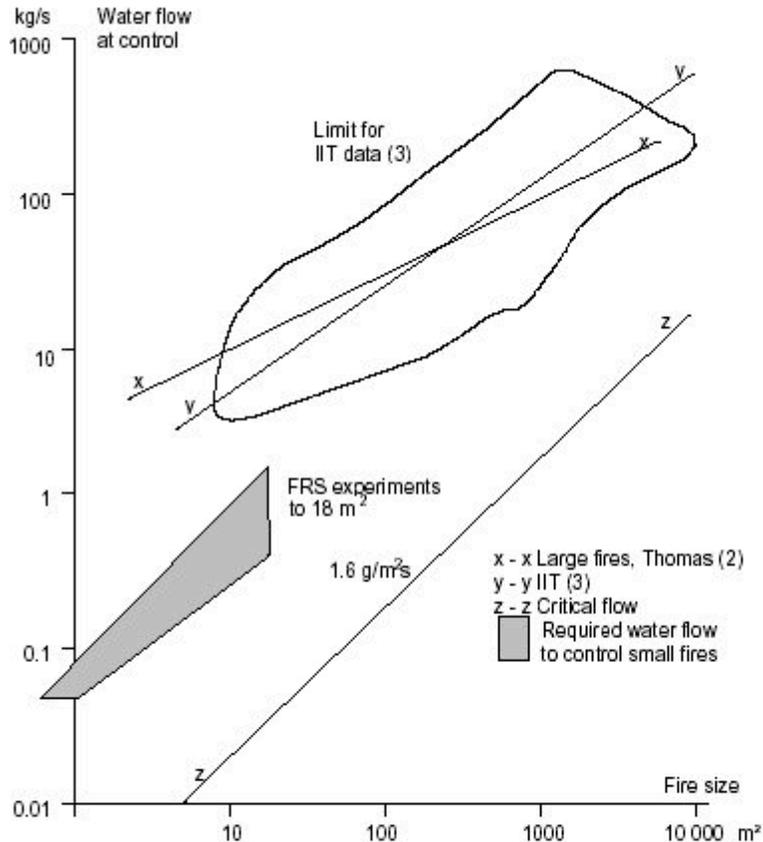


Fig 7. Rapport entre le débit utilisé et la surface de feu. Les données sont issues de feux réels, et prises dans des rapports publiés vers la fin des années 50 et 60. Ces valeurs ne sont sans doute plus tout à fait à l'ordre du jour. (An Engineering Approach to Firefighting Tactics, Stefan Sardqvist. Report 1014 Lund University Sweden).

Comme auteur technique au service des combattants du feu, j'ai fait inlassablement campagne pendant des années lorsque les débits (au Royaume-Uni) sont devenus dangereusement faibles, au fur et à mesure que les instructeurs CFBT (*NdT: instructeur en caissons flashover*) se sont trouvés fortement influencés par des centaines d'entraînements au combat contre des feux dans leur phase gazeuse, au sein des containers.

Ces expériences dans un environnement « contrôlé » ont abouti au travail mené par une équipe d'instructeurs et un fabricant de lance pour produire un diffuseur offrant des débits de 40 et 90 lpm. De tels débits conviennent idéalement à des quantités limitées de combustibles en phase gazeuse (1.5MW) que l'on peut rencontrer régulièrement à l'intérieur des simulateurs CFBT (caisson flashover), mais qui sont loin de correspondre à des feux de compartiment « réels » qui progressent vers et au-delà du flashover. Cependant, ce diffuseur (cette lance) a abouti à une norme inquiétante, consistant à utiliser des établissements de 19mm de diamètre sur dévidoir, en haute-pression (35 bars) dans le cadre des attaques initiales. Cette norme est désormais (en 2005) largement employée sur les feux de structure réels, pour lesquels des difficultés d'extinction sont de plus en plus fréquemment constatés.

### La chaleur spécifique (18)

La chaleur Spécifique, c'est la quantité de chaleur exigée pour élever 1 gramme (g) d'une substance de 1 degré Celsius (°C). La chaleur spécifique est exprimée en Joules (J). La capacité de chaleur spécifique de l'eau varie légèrement de 0°C à 100°C, mais à 18°C elle est de 4.183 kJ/kg°C. On a choisi 18°C, parce que c'est généralement la température de l'eau lorsqu'elle provient d'une conduite principale d'eau souterraine (hydrant).

### Exemple 1

Déterminer la quantité de chaleur absorbée si on élève la température de 10 kg d'eau de 18°C à 100°C.

$$Q = 4.183 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 10 \text{ kg} \times (100^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) = \underline{3,430 \text{ kJ}}$$

La chaleur Spécifique est exprimé en J/kg.K ou J/kg.°C.

### **La chaleur latente de vaporisation**

La chaleur latente de vaporisation est la quantité de chaleur qu'il faut fournir pour transformer un liquide en vapeur (changement d'état) sans en changer la température. Pour l'eau, cette donnée est : 2,257 kJ/kg.

L'eau ne bout pas immédiatement, elle doit atteindre sa température d'ébullition (100°C au niveau de la mer). Une fois que le point d'ébullition est atteint, l'eau absorbe le complément d'énergie thermique pour passer de l'état liquide à l'état de vapeur. C'est la chaleur latente de vaporisation. Des propriétés exceptionnelles de l'eau, celle-ci est la plus importante pour la lutte contre l'incendie.

### Exemple 2

Déterminer la quantité de chaleur absorbée par 1 kg d'eau initialement à 18°C s'il est complètement converti par chauffage en vapeur à 100°C

$$Q = 4.183 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) \times (100^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) + 2,257 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg})$$

$$Q = 343 \text{ kJ} + 2,257 \text{ kJ} = 2,600 \text{ kJ}$$

$$Q = \underline{2.6 \text{ MJ}}$$

### **Combinaison de la chaleur spécifique et la chaleur latente**

L'action finale de l'eau sur un feu est une combinaison de la chaleur spécifique et la chaleur latente de vaporisation. Nous devons calculer la quantité totale de chaleur absorbée par unité d'eau de sa température initiale, dans l'établissement (18°C), jusqu'à sa température finale, lorsqu'elle a atteint les gaz de combustion.

La chaleur totale absorbée se détermine en trois étapes :

- la chaleur spécifique est multipliée par la masse d'eau et par l'augmentation de la différence de température initiale et de la température finale (température d'ébullition de l'eau soit 100°C) ;
- on y ajoute le produit de la chaleur latente de vaporisation à 100°C multiplié par le poids d'eau;
- et ensuite on y ajoute la chaleur spécifique de la vapeur multipliée par la masse de vapeur et par l'augmentation de température de 100°C à la température finale dans les gaz de combustion.

### Exemple 3

Déterminer la quantité de chaleur qui sera absorbée si 1 kg d'eau à 18°C est parfaitement converti en vapeur d'eau à 300°C.

$$Q = 4.183 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) \times (100^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) + 2,257 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) + 4.090 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ kg}) \times (300^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C})$$

$$Q = 343 \text{ kJ} + 2,257 \text{ kJ} + 818 \text{ kJ}$$

$$Q = 3\,418 \text{ kJ}$$

$$Q = \underline{3.4 \text{ MJ}}$$

Ceci est illustré graphiquement par la figure 8.

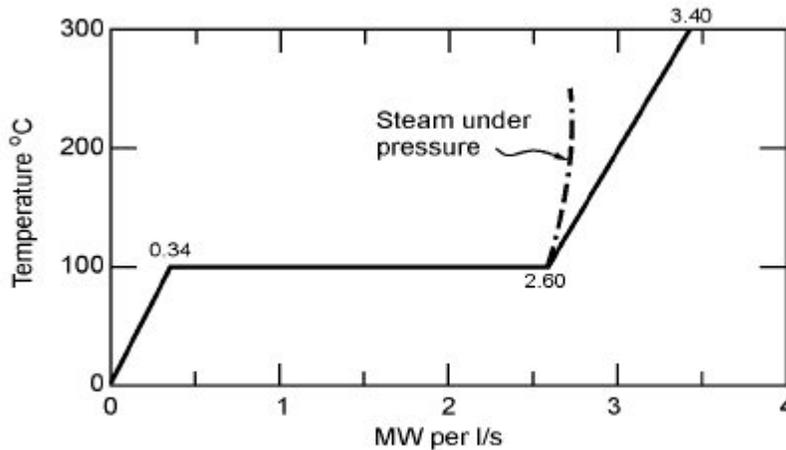


Fig 8 – Capacité de refroidissement de l'eau à 18°C, appliquée sur un feu, à la vitesse de 1kg/s (Steam under pressure = vapeur sous-pression)

L'information donnée par le tableau ci-dessous montre qu'1 kg d'eau, converti en vapeur comme dans l'exemple 3 ci-dessus, serait une quantité insuffisante pour absorber la chaleur dégagée par 1 kg de chacun des combustibles inscrits. Le résultat est cependant différent lorsque l'eau est appliquée sur un feu avec les débits habituellement utilisés en lutte anti-incendie en kilogrammes par seconde, donc en litres par seconde.

Substance (1 Kg)	MJ/Kg
Bois	16
Polyuréthane	23
Charbon	29
Pneus en caoutchouc	32
Essence	45

Dans l'exemple 2 ci-dessus, nous avons déterminé que 1 kg d'eau (donc un litre) porté à 100°C à partir d'une température initiale de 18°C pouvait absorber 2.6 MJ. Autrement dit, pour chaque MJ de combustible, un sapeur-pompier a théoriquement besoin de générer 0.38 kg de vapeur d'eau à 100°C pour absorber cette production de chaleur.

Comme autre exemple, chaque kg/s de vapeur d'eau à 300°C produit par un feu est théoriquement capable d'absorber 3.4 MW de l'intensité de celui-ci comme indiqué dans la courbe 8, ci-dessus.

En partant de cela, il est évident que 5 kg d'eau, convertie en vapeur à 300°C, ont la capacité théorique d'absorber  $5 \times 3.4 = 17$  MJ. C'est plus qu'assez pour absorber la chaleur produite par 1 kg de bois (16 MJ) dégagé dans un feu. Il est aussi évident que 14 kg d'eau ont la capacité d'absorber la chaleur produite par la combustion d'1 kg d'essence.

### Efficacité sur les feux

L'eau ne peut jamais être appliquée à 100 % d'efficacité pour des raisons diverses et la plupart des feux de bâtiment ne conservent pas 100 % de l'énergie de la chaleur dégagée dans la pièce où le feu se produit. Le résultat est que l'absorption d'énergie par l'eau et la production d'énergie du feu doivent être modifiées par des calculs d'efficacité. Ceux-ci peuvent être exprimés comme :

- (a) l'efficacité d'absorption de chaleur par la lance à incendie;
- (b) l'efficacité de production d'un feu de compartiment.

## **Efficacité de la chaleur d'absorption sur un feu (18)**

La chaleur d'absorption telle que décrite jusqu'ici illustre des conditions parfaites d'absorption (échange) de chaleur par l'eau. Dans la plupart des cas, une application tactique d'eau directement sur le feu s'approche rarement d'une efficacité de 100 %. À la différence d'un essai en laboratoire, il y aura toujours des inefficacités et des variables dans l'application de l'eau sur un feu de compartiment. L'eau peut aussi bien être employée pour refroidir des gaz de combustion que des surfaces chaudes, pour permettre à un sapeur-pompier de s'approcher tout près du foyer afin d'en achever l'extinction. Les parties en feu devraient d'abord être éteintes afin de permettre aux sapeurs-pompiers d'effectuer une progression leur permettant l'extinction d'autres parties en feu. Dans quelques cas, environ 20 % du débit d'eau seulement peut en réalité atteindre la surface brûlante du combustible.

*NdT: le reste est perdu par dégât des eaux, ou est consommé par des actions de refroidissements préalables, car ce qui nous intéresse ici c'est le rapport eau / chaleur sur le foyer principal. Le test du plafond, le « pulsing » d'approche etc. sont donc comptés dans les « 80% de perte ».*

Il y a eu plusieurs tentatives d'estimation des *facteurs d'efficacité* pour des débits de lutte anti-incendie, souvent basés sur des données extrapolées par des modèles informatiques théoriques. Cependant en général, les plus précis de tous ces facteurs d'efficacité sont ceux qui résultent de minutieuses recherches couvrant près d'une centaine de feux réels. Les recherches menées jusqu'alors, avaient indiqué que pour éteindre un feu, l'efficacité de l'eau utilisé comme agent de refroidissement était d'environ un tiers, ce qui correspond à un facteur de 0.32. De ce fait, on a proposé que la capacité de refroidissement effective (réelle) d'un débit d'eau de 1 l/s soit de 0.84 MW, ou en standard, qu'une lance incendie à 10 l/s soit capable d'absorber 8.4 MW, démontrant une capacité de refroidissement pratique d'une efficacité de 33 %. Cependant, des recherches plus récentes basées sur des données de grand feux réels indiquent que le facteur de 33 % est peut-être quelque peu sous-estimé. Le chiffre de trois quarts (75 % d'efficacité) apparaît plus fiable pour un modèle de brouillard (jet diffusé d'attaque) et qu'une valeur de la moitié (50 % efficace) correspond à la capacité d'un jet de type « bâton ».

*NdT: ceci concorde d'ailleurs avec les recherches menés sur [flashover.fr](http://www.flashover.fr), qui vont à l'encontre de certains documents Français qui ne font état que d'un rendement de 20%. Il s'avère en fait que ce rendement de 20% est sans doute celui obtenu par une attaque indirecte en jet bâton (formule des années 1950).*

La puissance (pouvoir) de refroidissement de chaque kg (litre) d'eau par seconde appliquée à un feu augmente avec la température. Donc le choix de cette puissance effectif de seulement 0.84 MW (100deg. C) peut être vu comme quelque peu conservatrice. À 400°C la puissance de refroidissement est plus proche de 1 MW et à 600°C elle est près de 1.2 MW (voir l'Image 7).

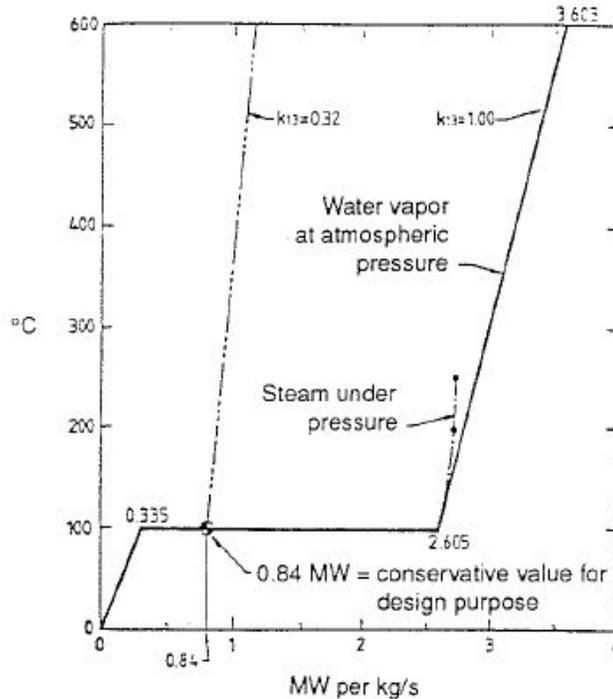


Fig 9. Capacité de refroidissement de l'eau appliquée à un feu, à la vitesse de 1kg/s (donc 1 litre par seconde).

En combinant les recherches de Cliff Barnett's SFPE NZ avec mes calculs originaux de débit d'extinction basés sur des données de feux réels, des facteurs d'efficacité mis à jour ont été insérés dans les calculs de débit de Barnett, comme suit :

Exemple 4

Trouver la quantité totale d'énergie absorbé ( $Q_s$ ) par un débit massique de 7 kg/s à la lance, si l'eau à une température initiale de 18°C, en supposant que la conversion d'eau liquide en vapeur est parfaite (100% de rendement de conversion) pour une température finale de 100°C

$$Q_s = 7 \text{ kg/s} \times 2.6 \text{ MJ/kg} \times 1.00$$

$$Q_s = 18.2 \text{ MW}$$

Exemple 5

Si l'efficacité de conversion pour 7 kg/s à la lance est seulement de 75 %, trouvez la quantité d'énergie de chaleur totale absorbée.

$$Q_s = 7 \text{ kg/s} \times 2.6 \text{ MJ/kg} \times 0.75$$

$$Q_s = 13.6 \text{ MW}$$

Exemple 6

Si l'efficacité de conversion pour 7 kg/s à la lance est seulement 50 %, trouvez la quantité d'énergie de chaleur totale absorbée.

$$Q_s = 7 \text{ kg/s} \times 2.6 \text{ MJ/kg} \times 0.5$$

$$Q_s = 9,1 \text{ MW}$$

### Exemple 7

Un bureau standard (pièce), dont l'efficacité de combustion est de 100 % aurait un taux de dégagement de chaleur moyen d'environ 0.25 MW pour chaque mètre carré de surface. Déterminer la quantité de chaleur produite par ce feu dans une pièce mesurant 6 m x 6 m, nous trouvons :

$$6 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0.25 \text{ MW/m}^2 = \underline{9.0 \text{ MW}}$$

Si ce qui précède est vrai, un établissement délivrant 7 kg/s avec un jet diffusé dont l'efficacité est de 75% (jet diffusé d'attaque) ou un débit d'eau « compact » (jet très étroit) à efficacité de 50 % pourraient tous deux délivrer assez d'eau pour contrôler et éteindre ce feu avec une efficacité de 100 % (Voir les Exemples 5 et 6 ci-dessus).

Des modèles informatiques complexes ont été développés pour fournir des évaluations de débits théoriques d'eau et sont formatés pour tenir compte de facteurs complémentaires, comme le temps d'intervention des équipes de lutte anti-incendie ; l'effet des systèmes d'extinctions automatiques qui peuvent avoir fonctionné ; corrigeant au besoin le HRR (Heat Released Rate – Taux de dégagement de chaleur); les paramètres de ventilation affectant directement le HRR ; radiation thermique et les besoins de refroidissement, équilibrant ainsi les besoins en eau pour des feux impliquant des structures..

### **Efficacité de la production de chaleur d'un feu de compartiment**

La combustion, consiste en des réactions chimiques qui produisent de la chaleur et qui se produisent entre l'oxygène (généralement fourni par l'air) et les matières combustibles (généralement l'hydrogène, le carbone ou les éléments des composés d'hydrocarbure). La combustion d'hydrocarbure est provoquée par la combustion de l'hydrogène (H) et du carbone (C) dans le combustible avec l'oxygène (O) contenu dans l'air (et / ou dans le combustible – les alcools, cétones etc.). En fonction des paramètres de ventilation et d'autres facteurs, l'efficacité de la mise à feu d'une telle charge de combustible (dans un compartiment avec des ouvertures limitées) n'est jamais capable de se réaliser à 100%. Lorsque les ouvertures de ventilation du compartiment sont limitées, il faudra au feu plus de temps pour se développer que s'il se produisait en plein air, et ce quelle que soit la charge de combustible,.

### **Efficacité thermique et vitesse de combustion dans un feu de compartiment**

Les modifications effectuées par Barnett dans les *facteurs d'efficacité (refroidissement) des débits de lutte contre l'incendie*, intégrées dans les recherches de débit de Grimwood, couplées avec l'efficacité thermique d'un feu de compartiment (pris à 50 %), ont abouti à la mise à jour réalisée par Barnett (TP 2004/1).

### Exemple 8 :

Si l'efficacité d'une lance à 7 kg/s est de 50 %, comme dans l'Exemple 6, et que l'efficacité du feu est seulement de 50 %, trouvez l'énergie totale qui peut être absorbée par le flux d'eau.

$$Q_s = 7 \text{ kg/s} \times (0.50 \times 2.6 \text{ MJ/kg}) / 0.50$$
$$Q_s = 18.2 \text{ MW}$$

Ou, en réarrangeant l'équation la quantité d'eau exigée sera :

$$F = (0.50 \times 18.2 \text{ MW}) / (0.50 \times 2.6 \text{ MJ/kg}) = 7 \text{ kg/s}$$

Avec  $F$  = le débit d'eau de lutte anti-incendie en kg/s (litres/seconde)

$Q_s$  = capacité d'absorption de la chaleur

En pratique, il faut noter que les limites physiologiques d'un sapeur-pompier sont relatives à la taille du compartiment. Ainsi un sapeur-pompier face à une puissance thermique de 1MW dans un local de 40m<sup>3</sup> ressent les mêmes effets que s'il se trouvait face à une puissance de 16MW dans un plus grand compartiment, de 300m<sup>3</sup>.

La fiabilité de cette méthode dépend de l'exactitude des données de taux de dégagement de chaleur (HRR) et de l'efficacité des valeurs de refroidissement employées, qui dans ce cas sont basées sur des données de feux réels, en structure (locaux). Cette méthode considère non seulement les propriétés d'absorption thermique de l'eau d'un point de vue scientifique, mais également l'efficacité des débits de lutte anti-incendie lorsqu'ils sont employés pour contrôler des feux réels en milieu clos, dans des conditions post- Flashover, démontrant ainsi des HRR comparables pour les feux de compartiment les plus fréquents.

### **Le débit tactique (TFR : Tactical Flow Rate) et la Formule de terrain (opérationnelle)**

Mes recherches originales menées, sur 100 feux réels à Londres (en 1989) m'ont permis de calculer une gamme de débits qui ont été employés par les sapeurs-pompiers pour éteindre des feux importants, dans une large gamme de locaux. Mes évaluations indiquent que des actions menées avec des débits compris entre 200-400 lpm sont généralement couronnées de succès pour l'extinction de feux de compartiment se développant jusqu'à 100m<sup>2</sup>, bien que des débits inférieurs aboutissent parfois à l'extinction de feu post-flashover, pendant la phase de régression du feu.

Mon intérêt continu dans ce secteur de recherche, basée sur la nouvelle analyse détaillée de données empiriques, a abouti à un calcul opérationnel facilement utilisable, et fiable.

$$A \times 4 = \text{lpm} \text{ (Grimwood 1999)}$$

Où A = superficie en feu impliqué en m<sup>2</sup>

Cela suggère qu'un feu impliquant 100m<sup>2</sup> de superficie nécessite un débit de 400 lpm pour pouvoir intervenir efficacement, pendant la phase de croissance de l'incendie. Cette formule étant basée sur des charges de feu moyennes, on a proposé plus tard que pour des charges de feu plus importantes ou des éléments structurels pouvaient être impliqués dans le feu, le débit de l'établissement (à la lance) devrait être augmenté de 50% (A x 6 = lpm).

Les recherches de Cliff Barnett (18) pour le SFPE NZ ont pris en compte cette approche et ont permis l'application du test de FLEDS (la Densité d'Énergie de Charge du Feu) sur ma formule, afin de constater combien elle était proche de la sienne. Étonnamment, les deux approches de recherche étant comparable, il a décidé de les combiner, l'une basée sur de la théorie scientifique détaillée avec l'autre basée sur beaucoup de données empiriques issues pour une grande part d'interventions sur des feux d'intérieurs en ville et en banlieue. Les débits que j'avais enregistré : 200lpm, 400 lpm (pour des feux de bureaux) et 600 lpm, débits tirés de l'étude de 100 feux, ont été introduits dans le système NZ FLEDS et correspondent à des puissances respectives de 400, 800 et 1,220 MJ/m<sup>2</sup>. Cela a permis la mise à jour des facteurs d'efficacité des débits d'extinction discutés ci-dessus.

Il y a beaucoup de corrélations entre le débit tactique (Grimwood) et d'autres formules de terrain développé par ailleurs. Si nous faisons référence à un compartiment de 100m<sup>2</sup>, la formule linéaire NFA suggérerait que 1350 lpm devraient être nécessaires pour une extinction complète (en utilisant l'équation linéaire NFA - NFF = (L x W) / 3 (NFF - 'Needed Fire Flow' - 'Débit d'Extinction Nécessaire' est un terme ISO).

La sur estimation dans la formule NFA devient maintenant évidente. Cependant on doit se rappeler que la méthode NFA d'estimation des besoins en débit d'eau pour l'extinction prend en compte un *facteur de sécurité* incluse dans le calcul et s'applique par la suite aux structures qui sont volontairement ouvertes pour permettre de libérer les produits de combustion, ce qui permet naturellement un plus grand taux de

dégagement de chaleur. La formule est également limitée par le pourcentage de combustible impliqué (la formule (linéaire) NFA est conçue pour fonctionner avec certains paramètres).

La formule (surface ft<sup>2</sup> / 3) est conçue pour l'utilisation opérationnelle lors d'interventions sur des feux intérieurs violents et à une forme simplifiée par rapport à la forme originale, ceci afin de faciliter son utilisation lors d'opérations.

Il a été indiqué par les Chefs Burns & Phelps que la méthode NFA de calcul du NFF prend comme base une attaque de feu intérieur violent mais que la formule peut devenir de plus en plus imprécise lorsque des pourcentages de zone combustible impliquée deviennent supérieurs à 50 % sur des grandes surfaces, et que dans ce cas, le résultat ne peut plus être obtenu par une telle approche. L'exactitude de la formule NFA peut donc être considérée comme douteuse dans le cas de compartiments d'une superficie supérieure à 560m<sup>2</sup>, dont plus de 50% de la surface est en feu.

L'approche du NFA pour le calcul de débit opérationnel, est conçue pour de l'attaque directe (application d'eau sur la surface du combustible) dans des structures commerciales, où le débit maxi n'excède pas 3780 lpm. Ceux qui ont développé la formule, dans son format révisé, admettent que le calcul NFA fournit plus d'eau pour l'extinction que nécessaire, dans le cadre d'un bâtiment qui reste non aéré et bien fermé. Il faut également noter que les débits recommandés via de la formule NFA tiennent compte, des établissements d'attaque et d'appui (établissement secondaires) comme s'ils débitaient leur pleine capacité de façon simultanées.

De la même façon, la recherche de débit de l'IOWA, qui date des années 1950, se rapproche de celle réalisée par l'auteur, et une tentative d'union des deux approches a d'ailleurs été faite par John Wiseman en 2003 (*NdT : document de comparaison Iowa – Grimwood, disponible sur [www.flashover.fr](http://www.flashover.fr)*)

### **Débits tactiques et débits dans les établissements pour l'attaque des feux d'intérieurs**

La recherche de Lund (ci-dessus) a démontré que les débits de 113 lpm étaient incapables de contrôler le développement de feux de compartiment dans les six minutes critiques et que n'importe quel contrôle réalisé après cette durée l'aurait été durant la phase de régression du feu. La même recherche a montré qu'un débit de 226 lpm était capable de réaliser une extinction pendant la phase de croissance du feu. Nous avons également vu beaucoup de données empiriques provenant de différentes sources qui indiquent que la majorité des feux structurels sont inférieurs à 100 m<sup>2</sup> et sont éteints avec un débit inférieur à 600 lpm. La recherche menée par l'auteur en 1989, avait permis de montrer que des débits compris entre 200-400 lpm sont généralement suffisants pour l'extinction de feux de compartiment se développant jusqu'à 100m<sup>2</sup> et Stolp suggère également que 200 lpm serait un débit suffisant.

L'auteur propose donc un débit minimum tactique (TFR : Tactical flow Rate) de 400 lpm par 100m<sup>2</sup> de surface en feu pour des attaques tant sur la phase solide que sur la phase gazeuse, ceci incluant une petite marge d'erreur. Si le feu s'est étendu à un stade où il implique des éléments réels de la structure, le débit de l'établissement de base doit être augmenté d'au moins 50 % (600 lpm par 100m<sup>2</sup>). En termes d'approche sur un feu de phase gazeuse dans un compartiment, il faut noter que, d'après l'expérience de l'auteur, la stratégie d'attaque en brouillard d'eau 3D est limitée à une taille de compartiment maximale de 70m<sup>2</sup>.

Il y a eu plusieurs études internationales concernant le débit idéal du premier établissement « basse pression » ( 7 bar à la lance) mis en œuvre pour l'attaque et celles-ci ont été assez consensuelles dans le choix du tuyau de 51mm – débit 450 à 560 lpm. Cette recherche prend plusieurs points en considération :

- a) le débit optimal
- b) la facilité de manœuvre et de tenue de la lance à la main
- c) la réaction à la lance (recul)
- d) le lieu et les questions de déploiement tactiques

De tels établissements de tuyaux sont rapidement reconnus comme des outils d'attaque idéaux, dans le cadre d'une progression primaire offensive menée par deux sapeurs-pompiers dans des feux de compartiments / structures où la superficie sinistrée est contenue dans 100m<sup>2</sup>. Dans des situations où un mode défensif est nécessaire, où lorsque n'importe quel front de feu particulier s'intensifie rapidement par

une charge de feu importante, l'implication d'une vaste structure, ou la présence de rafales de vent (par exemple), des moyens plus puissants seront nécessaires. Cependant, soyez conscient que les débits jusqu'à 950 lpm provenant d'un tuyau de 51mm sont généralement maniables par une équipe de deux sapeurs-pompiers en situation défensive ou offensive (Noter que la réaction à la lance serait trop puissante pour progresser avec une telle ligne, avec la lance ouverte).

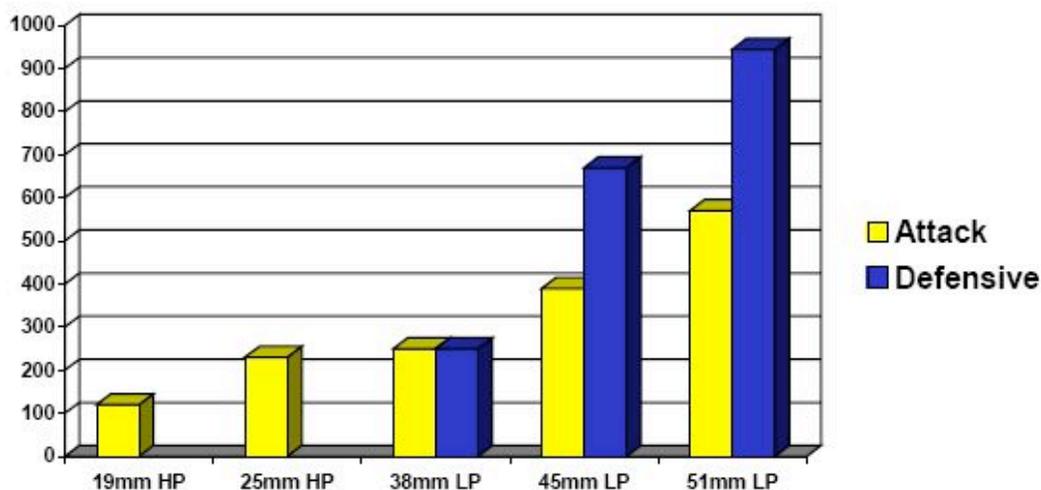


Figure 10 - Flow-comparisons from a range of hose options offered by various hose-line diameters.

En tenant compte de tous les éléments de recherches scientifiques disponibles, des modèles informatiques et des études empiriques dont le but est la découverte des débits les plus sûrs et les plus efficaces pour les méthodes d'attaque de feu en intérieur, l'auteur suggère qu'après la première option d'un tuyau d'attaque rapide sur dévidoir de 25mm HP, un établissement de tuyaux de 51mm, couplée à un débit approprié de 450 ou 560 lpm combiné à une lance jet droit / diffusé, est sans aucun doute l'option la meilleure pour traiter, aussi bien des surfaces combustibles que des feux en phase gazeuse dans un compartiment.

*NdT: Paul Grimwood parle bien ici d'un premier établissement 25mm sur dévidoir, mais en haute-pression. Ce n'est absolument pas un établissement de type LDT qui lui est totalement insuffisant !*

Dans une attaque directe la lance avec un jet étroit à 450 lpm sous 7 bar (NP : Nozzle Pressure) de pression à la lance, produira une force de réaction (NR : Nozzle Réaction) de 268 Newtons, ou de 333 Newtons pour un débit de 560 lpm, ce qui est dans les limites acceptables et qui permettra à un équipage de deux personnes d'avancer avec l'établissement, facilement et sans risque. Une augmentation supérieure à 333 Newtons (N) NR augmenterait de beaucoup la difficulté pour un équipage de deux personnes de déplacer un établissement avec la lance ouverte, bien qu'un équipage à trois personnes devrait être capable de manipuler et d'avancer avec un établissement produisant une force de réaction de 422N NR.

Un sapeur-pompier	266 Newtons
Deux sapeurs-pompiers	333 Newtons
Trois sapeurs-pompiers	422 Newtons

Dans toutes les situations impliquant le déplacement d'un établissement face à une structure en feu de 100m<sup>2</sup>, la mise en place par anticipation d'un établissement de soutien est toujours une action secondaire importante, durant l'action initiale.

## La lutte anti-incendie dans de les grands compartiments

En termes pratiques, l'implication complète d'un feu de structure de 100m<sup>2</sup> sans cloison peut être traitée plus efficacement en employant un établissement d'attaque à fort débit, par l'extérieur. Plus le débit sera important, plus tôt le feu sera maîtrisé. Une attaque directe en utilisant un jet droit ou « presque » droit suffira. Le débit tactique minimum recommandé (400lpm) doit vaincre le front de feu même lorsque le feu se développe. Si le feu s'est propagé pour impliquer des composants structurels : murs, rayonnages,, planchers (étages), toits, brèche dans un mur du compartiment etc. des débits plus important pourront être nécessaires. Lorsque 100% de la structure est impliqué, il faut utiliser des lances à fort débit ou des systèmes « monitor ». Une application de brouillard d'eau offensif 3D n'est pas une approche optimale pour un feu de cette envergure à moins que la structure soit compartimentée ou que la source de combustible soit isolée .

## La lutte anti-incendie dans de petits compartiments

Il est important de reconnaître les limitations de la formule opérationnelle indiquée par l'auteur. Sa mise en application sur des petits compartiments, comme une pièce de 4m x 4m en feu, entièrement impliquée et dégageant 10MW, aboutirait à une exigence de débit minimum de :

$$F = (0.50 \times 10 \text{ MW}) / (0.50 \times 2.6 \text{ MJ/kg}) = 3.84 \text{ kg/s}$$

Ce qui fait un débit réel de 230lpm. Un tel feu pourrait donc être éteint avec un établissement sur tuyaux de 25mm sur dévidoir, haute-pression ou par un établissement de tuyaux de 51mm, basse pression. Or, en appliquant la formule opérationnelle A x 4 dans cette situation, cela produirait une sous-estimation des besoins :

$$F = A (16m^2) \times 4 = 64 \text{ lpm}$$

Ceci dit, cette méthode opérationnelle d'estimation des débits nécessaires est utilisable dans la cadre de surface au sol comprises entre 50 et 600m<sup>2</sup> en se basant sur une hauteur de plafond de 2.5m.

## References

- 1 JR Mawhinney – Water Mist Extinguishing Properties – 4th Symposium on Fire Safety Science 1994
- 2 J Bertrand & J Wiseman – Fog Nozzles – Fire Engineering Penwell Publishing USA – 2002
- 3 K Giselsson & M Rosander – Making the Best of Water for Extinguishing Purposes – Fire Magazine (UK) – October 1984
- 4 P Grimwood – Flashover & Nozzle Techniques 1999 – Firetactics.com
- 5 P Grimwood, E Hartin, J McDonough, S Raffel, 3D Firefighting – FPP/IFSTA University Oklahoma State 2005
- 6 P Grimwood – Fog Attack – DMG/FMJ International Publications Redhill, Surrey – 1992
- 7 P Grimwood – Firefighting Flow-rates – Firetactics.com
- 8 NFA Linear Fire-ground Formula for Needed Fire Flows – National Fire Academy USA
- 9 Sardqvist, Stefan; Fire Brigade Use of Water, Interflam '99, Proceedings of the Eighth International Conference, Vol. 1, Interscience Communications Ltd. 1999
- 10 Alageel, Ewan and Swithenbank - University of Sheffield UK - Mitigation of Compartment Jet Fires Using Water Sprays (1998)
- 11 FRDG 1/97 – Fire Research & Development Group UK 1997
- 12 Z Liu; A Kashef; GD Loughheed; N Benichou; National Research Council, Canada - RR124 – 2002

- 13 Svensson & Sardqvist - Fire tests in a large Hall –Report LUTVDG/TVBB-1025-SE Lund University Sweden 2002.
- 14 Sardqvist S – Report 1014 – Lund University Sweden 1996
- 15 M Stolp – The extinction of small wood crib fires by water – 5th IFPS 1976
- 16 Sardqvist S – Report 7003 – Lund University Sweden 1998
- 17 P Beaver & B Davy – A rational Approach to Firefighting Water Supplies - AFAC Conference Australia 1999
- 18 C Barnett – SFPE (NZ) TP/2004/1
- 19 S Hunt & G Roberts BDAG - ODPM Office of the Deputy Prime Minister 2004