

Angles de cônes, tailles de gouttelettes, vitesse de propulsion et débits pour l'application offensive 3D (tridimensionnelle) optimale lors du refroidissement de la phase gazeuse

Par Paul GRIMWOOD – Traduction par Franck GAVIOT-BLANC

Traduction de l'article : **Cone-angles, Droplet sizes, Discharge velocities & Flow rates for optimal 3D offensive gas-cooling applications.**

Article original : www.firetactics.com/CONE-ANGLES.htm

Avertissement : La présente traduction apporte de nombreuses informations concernant les facteurs d'efficacité pouvant permettre à l'eau, utilisée comme agent extincteur, de réaliser une captation optimale du flux thermique émis par un foyer. Cet article fait apparaître plusieurs résultats concernant les flux d'énergie thermiques émis par un foyer et les capacités que peut avoir l'eau à les absorber. En comparant ces données avec celles qui sont disponibles dans le GNR accident thermique « Guide du formateur », nous avons relevé des différences étonnantes, alors que les hypothèses de réflexion sont les mêmes... Cela a conduit Pierre-Louis Lamballais et moi-même à nous rapprocher de Paul Grimwood, afin de comprendre les écarts de résultats constatés. En réponse à ces questions et suite à des études plus poussées, un document intitulé «flow-rate 2005 / débit en eau – 2005 » a vu le jour le 18 janvier 2005. Il est impératif de consulter ce document afin d'avoir des informations plus complètes que celles du présent document.

Il existe une profusion de recherches internationales liée aux angles (spatiaux) « idéaux » de cônes, tailles de gouttelettes d'eau, vitesse & débit de propulsion liés à la nouvelle génération de technique de refroidissement et d'extinction des phases gazeuse. Bien qu'une grande partie de la littérature soit directement concernée par les systèmes d'extinction du feu par brouillard d'eau (WMFSS : Water Mist Fire Suppression System Ndt : systèmes fixes de type Sprinkler), cette recherche fait souvent référence et est souvent étroitement associée aux applications tactiques de lutte contre l'incendie. Bien qu'il puisse être utile que les Sapeurs-pompiers aient une compréhension de base d'un tel concept, il faut souligner que ces principes scientifiques sont généralement développés à partir de modèles informatiques théoriques, souvent vérifiés à posteriori par l'expérience pratique. Toutes les suggestions affirmant que ce sont ces paramètres qui ont le plus d'importance, sont incorrectes et les Sapeurs-pompiers doivent être bien conscients que leurs techniques d'applications et leurs tactiques d'approches ont bien plus d'importance sur le résultat final que ne peut en avoir la taille des gouttelettes et les angles spatiaux etc... Il est également important de noter que ces paramètres sont « dynamiques », évoluent constamment et sont directement liés à la taille du compartiment, sa géométrie, la charge de carburant et bien sûr le taux de dégagement de chaleur du feu. L'application « idéale » dans une petite pièce peut ne pas être aussi efficace que dans un plus grand compartiment ou dans des situations où la charge du feu est anormalement élevée. Dans ce cas des rajustements du débit et de la technique peuvent être nécessaires.

Les mécanismes de l'extinction par de l'eau sur les feux de classe "A" :

Les effets suppressifs que l'eau peut avoir sur les feux de classe "A" sont - (Grant & Drysdale FRDG 1/97)

Refroidissement du carburant : refroidissement de la surface du combustible solide, qui réduit le taux de pyrolyse et ainsi le taux de carburant 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 du refroidissement primaire de l'agent d'extinction. L'application de gouttelettes d'eau sur un lit de carburant (foyer) est typique de cette méthode.

Refroidissement de la flamme : refroidissement direct de la zone de flamme ; ceci réduit la concentration en radicaux libre (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 fonction de la nouvelle technologie de brouillard d'eau est d'agir de cette manière, les fines gouttelettes fournissent 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. C'est le mécanisme dominant par lequel les brouillards d'eau peuvent supprimer les grands feux en milieu confiné.

Dans une discussion sur le mécanisme d'extinction des feux par brouillard d'eau, Mawhinney a ajouté aux possibilités ci-dessus, l'atténuation **thermique du rayonnement, la dilution du mélange inflammable air / vapeur et l'inhibition chimique.**

Interaction des brouillards d'eau avec les flammes et les gaz

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 :

- 1- Colloïdal (en dessous de 1 μm - apparaissant comme de la fumée)
- 2- Poussière (entre 1 et 10 μm - apparaissant comme de l'embrun)
- 3- Fine (entre 10 et 100 μm - apparaissant comme un nuage, une bruine)
- 4- Moyenne (entre 100 et 1000 μm - apparaissant comme de la brume ou de la pluie)
- 5- Grossière (entre 1000 et 10 000 μm - apparaissant comme de grossière gouttelettes)

La limite entre le brouillard et la bruine semble quelque peu arbitraire et le NFPA (USA) a récemment suggéré une définition pratique du brouillard d'eau, comme étant constitué par un brouillard dans lequel 90% du volume d'eau est formé par des gouttelettes de 1000 μm (1 mm) de diamètre. Une définition alternative du brouillard d'eau a été avancée par Ramsden, il suggère que la définition du NFPA puisse être trop approximative, et considère qu'une gamme de gouttelettes plus fines, allant de 80 - 200 μm de diamètre serait plus convenable pour un système de brouillard d'eau.

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 autre parce que la résistance offerte par l'air environnant à la progression des gouttelettes est proportionnelle à leur diamètre. Par conséquent, la puissance de portée, ou la pénétration du spray dépend fortement de la distribution des tailles de gouttes. L'efficacité du transfert thermique aux gouttelettes d'eau est fondamentale à leur utilisation dans les applications de lutte contre l'incendie, il dépend également de la géométrie des gouttelettes et en particulier du rapport de la surface totale du spray à son volume. L'augmentation de ce rapport est bénéfique car il favorise l'absorption rapide de la chaleur environnante et l'évaporation des gouttelettes. La pénétration pratique obtenue par un embout de pulvérisation 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 concernées par cette interaction entre les gouttelettes d'eau et la « plume du feu ».

Cette littérature suggère qu'il doit exister un taux de rejet critique de la chaleur au-dessus duquel une taille de goutte ne contribuerait pas à l'extinction du feu, ceci étant due à son incapacité à atteindre la zone de refroidissement appropriée. A cet effet, on a noté dans de nombreuses études que la taille idéale des gouttelettes d'eau pour le refroidissement en phase gazeuse et les applications d'extinction gazeuse par les Sapeurs-pompiers baisse dans une gamme de 200 à 400 μm (0,2 à 0,4 mm).

La conférence annuelle BFRL sur la recherche du 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 commandé et clos, l'attention étant portée sur l'efficacité de 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 ce sont les cônes de jet avec des valeurs de 60 - 75° qui se sont avérés les plus efficaces en réduisant la température globale. Pour ces angles, le comportement limiteur est dû à l'efficacité de pénétration de la flamme qui indique que des vitesses de jet supérieures à 18 m/s (65 km/h) devraient être employées. Les diamètres de gouttelettes de 100 à 600 μm ont été analysés et il a encore été noté que les gouttelettes de l'ordre de 300 μm (0,3 mm) ont eu un effet de refroidissement maximal sur le compartiment. En termes de débit, on a signalé que pour les dimensions du compartiment (35 m³), le débit optimum était compris entre 120 et 180 l/mn. Lorsque ce débit a été supérieur, les températures du compartiment n'ont pas été plus rapidement réduites tandis qu'un fort ruissellement d'eau a été observé. A des débits inférieurs à 120 litres/mn le refroidissement global a été perçu comme étant beaucoup moins efficace

Lors d'une extinction moyenne, il a été estimé que l'eau a une capacité de refroidissement théorique de 2,6 MW par litres et par seconde, bien qu'en pratique, sa capacité réelle soit autour de 0,84 MW par litre et par seconde. Il est prudent d'essayer de faire correspondre vos débits avec les taux de rejet de chaleur probables que l'on peut rencontrer initialement en entrant dans des structures placées dans votre localité. **En moyenne, un feu de chambre dans une maison est susceptible d'atteindre des intensités de plus de 7 MW au flashover et un débit minimum de 500 l/mn sera nécessaire pour intervenir efficacement et sans risque face à cette situation. Cependant, un tel débit est trop important pour une application optimisée de refroidissement gazeux et un débit d'environ 100-150 l/mn conviendra au même feu en phase de pré flashover où le refroidissement / l'inertage de gaz est approprié.** Pour éviter d'introduire trop d'eau et jouer sur le débit quand le feu s'intensifie, le pompier doit idéalement être équipé d'une ligne d'eau alimentée (établissement) pour l'attaque, qui fournit une gamme de débit de 100-500 l/mn avec sélection du débit à la lance.

NdT : la capacité d'absorption thermique doit être revue, au regard de recherches et de conclusions plus récentes. Il convient de lire le document « flow-rate-2005 / débit en eau –2005 » pour avoir une information plus précise.

Rabash a essayé d'estimer le transfert thermique entre la flamme et les vaporisateurs d'eau (embouts de pulvérisation) et a produit un la 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 trouvé 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/m² tandis que la même goutte se déplaçant à 2 m/s a permis un transfert de 293 kW/m². 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/m² et 2,5 MW/m². Une évaluation sur la pénétration des gouttelettes a aussi été présentée et il a été noté que les gouttes d'une taille initiale plus grosse

pouvaient pénétrer plus loin dans la flamme avant que l'évaporation complète ne se soit produite. Des réalisations plus récentes de ce type de modèles ont été développées où les données d'entrées incluent des détails concernant la couche de gaz chaud et des données empiriques sur la taille de goutte d'une gamme de pulvérisateurs commerciale d'eau (sprinklers) et de tête de pulvérisation d'eau en brume où le comportement individuel des gouttelettes individuelles peut être étudié dans une simulation globale d'interaction vaporisateur / feu. C'est l'intérêt, de l'IFEX 3000, pistolet à impulsion d'un litre <http://www.ifex3000> qui décharge des éclats de gouttelettes de 2-200 micron à 120 m/s avec un jet maximal de 16 mètres, mais les sapeurs-pompiers qui l'on essayé lors de simulation en container, on remarqués qu'il pouvait manquer de pénétration dans les couches surchauffées des gaz de combustion en structure confinée. Alors que ses capacités de refroidissement semblent être efficace tout près, son interaction avec la « plume de feu flottante » a semblé affecter la capacité des gouttelettes minuscule a pénétrer les gaz aériens.

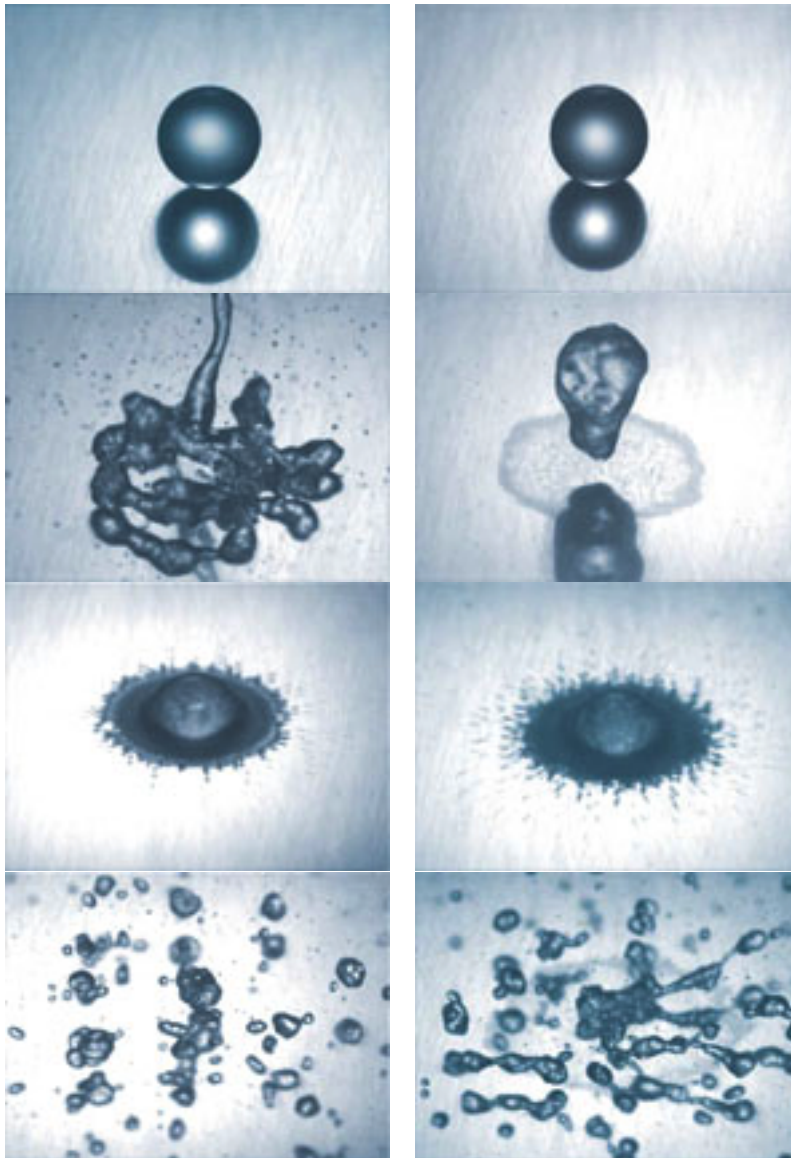
En termes de pénétration de gouttelette, l'influence de la pression à la sortie de l'embout de distribution est contestée par certains et l'utilisation des systèmes à haute pression comme moyen permettant de projeter plus efficacement des gouttelettes fines, est sujet à caution. Contrairement aux espérances, l'effet de la pression peut aboutir à l'augmentation de la taille des gouttes, plutôt qu'à sa diminution. Cependant, il conviendrait d'aller plus loin dans ses recherches.

La goutte et la plaque chauffée...

Le comportement des minuscules gouttelettes de nouveau liquide extincteur peut jouer un grand rôle dans l'efficacité de la lutte anti-incendie. On propose ces nouveaux agents extincteurs pour remplacer le gaz halon, qui est maintenant éliminé progressivement parce qu'ils endommagent l'ozone stratosphérique.

L'efficacité d'un agent extincteur dépend de beaucoup de facteurs. Les gouttelettes s'évaporent-elles rapidement ou s'accrochent-elles à la surface chaude ? Est-ce qu'elles s'étalent, se rétrécissent, éclaboussent, ou se soulèvent par lévitation ? Les interactions entre les gouttelettes liquides et les surfaces ont été étudiées pendant plus de 100 ans, mais le processus compliqué n'est toujours pas bien compris. De plus, peu d'études ont été fait sur ce qui arrive aux gouttelettes d'eau contenant des additifs supprimant le feu.

Les chercheurs du NIST étudient la dynamique de collision des gouttelettes simples, d'environ 2,7 mm de diamètre, lorsqu'elles frappent une surface d'acier inoxydable, chauffée. Dans un ensemble d'expériences, le comportement de l'eau pure a été comparé à celui d'une solution contenant du sel comme additif (30 pour cent d'acétate de sodium tri hydraté). Les chercheurs ont enregistré ce qui est arrivé aux gouttelettes à différentes énergies d'impact et à différentes températures de surface en employant une caméra numérique à haute vitesse.



Dans les résultats, pour l'eau (photos colonne de gauche) et les gouttelettes contenant l'additif (colonne de droite), le film liquide en forme de disque qui s'est formé sur la surface après l'impact, augmente en diamètre quand la vitesse d'impact augmente, fournissant probablement un refroidissement plus important de la surface. La présence de l'additif a considérablement influencé la dynamique de collision à basse énergie d'impact (deux photos du haut), mais à moins influencés avec des vitesses plus importantes (deux photos du bas). Cela suppose que pour un impact à haute vitesse, connaître l'évolution du diamètre du film liquide lors de l'impact de l'eau peut être utile pour déterminer la dimension de la surface refroidie. Ces résultats sont importants car les gouttelettes heurtant les surfaces, à partir de sprinkler ou de lances, sont considérés comme ayant des énergies d'impact élevées.

Contact : Samuel Manzello,
(301) 975-6891 NIST USA

Ndt : Paramètres optimales de dispersion en résumé –

*Angles de cônes – entre 60 et 75°
Diamètre de gouttes – 0,3 mm (300 µm)
Débit en approche entre 120 et 180 l/mn*

*Influence du rapport taille de gouttes vitesse
Goutte de 2 mm à 0,07 m/s 167 kW/m²
Goutte de 2 mm à 2 m/s 293 kW/m²
Goutte de 50 µm à 0,01 m/s 1,7 MW/m²
Goutte de 50 µm à 0,5 m/s 2,5 MW/m²*

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.