

# Le froid et les phénomènes thermiques

Influence des conditions climatiques sur les phénomènes thermiques  
Pierre-Louis Lamballais  
Franck Gaviot-Blanc

V 1.03a



*Parc Mont Royal à Montréal [11]*

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 3  |
| Les statistiques .....                                      | 3  |
| Les explications simples.....                               | 3  |
| Des cas extrêmes.....                                       | 3  |
| Des explications plus poussées ? .....                      | 4  |
| Les gaz chaud se dilatent les gaz froid se contractent..... | 4  |
| La masse de l'air .....                                     | 5  |
| La dilatation de l'air .....                                | 5  |
| Le débit de l'air sur un ouvrant « standard » .....         | 6  |
| Impact sur les phénomènes.....                              | 7  |
| Impact sur la puissance thermique .....                     | 7  |
| Impact sur les chances d'occurrence .....                   | 7  |
| Impact sur la vitesse de déclenchement du flashover.....    | 9  |
| Impact sur la facilité d'apports d'air.....                 | 9  |
| Le cas du backdraft naturel.....                            | 10 |
| Conclusion.....   | 11 |
| Les auteurs.....  | 11 |
| Bibliographie – Références .....                            | 12 |

#### **Avertissement**

*Ce document cherche à expliquer l'impact du froid sur les phénomènes thermiques. Certaines données, comme la vitesse de pénétration de l'air dans un local, font l'objet d'une simple approximation, compte tenu du manque d'informations précises sur ce sujet. Ceci étant, le but n'est pas de définir ici des valeurs exactes, mais de montrer l'existence d'une influence du froid. Si cette valeur de vitesse de pénétration de l'air devait ultérieurement être revue à la hausse ou à la baisse, cela ne changerait rien dans la différence constatée entre une intervention par temps chaud et la même intervention par temps froid. Seules les valeurs numériques changeraient, mais en tout état de cause cela ne changerait pas la conclusion de ce document : **méfiez vous du froid !***

## Introduction

Nos recherches, concernant les progressions rapides du feu, nous permettent de comprendre, mais nous amènent également à nous poser de nouvelles questions, au fur et à mesure de nos avancées. Nous nous attaquons cette fois à un point, sujet à discussion :

**« l'hiver est-elle une saison aggravante? »**

Nous avons cherché la réponse et nous avons surtout essayé de comprendre pourquoi, d'autant que le document annexe au GNR traitant des accidents thermiques [1], laisse supposer que le froid aggrave sans doute les choses, en indiquant par exemple que les conditions météorologiques ont une importance. Mais dans ce cas, ce document semble surtout faire allusion non pas aux températures, mais au vent (présence ou absence) et aux problèmes des courants d'air qui en découlent.

## Les statistiques

D'un point de vue occurrence des phénomènes, les choses semblent pourtant claires : l'hiver est bien un facteur aggravant. Il suffit de reprendre la liste des accidents pour constater que bien souvent, ils se produisent durant la saison froide.

- Blaina (Pays de Galles) - 1er Février [2]
- Keokuk (Iowa) - 22 Décembre [3]
- Plumaugat (France) - 23 Janvier
- Pittsburg (Pensylvannie) - 14 Février
- Milford (Michigan) - 25 octobre
- etc...

Evidemment, cela ne signifie pas que l'été soit la saison du danger zéro, car il existe également des accidents qui surviennent en été. Mais en tout cas les statistiques laissent déjà penser que l'hiver accentue les risques et que les incendies sont plus fréquents en période hivernale [10]. Mais encore faut-il chercher à savoir pourquoi...

## Les explications simples

Pour tenter de justifier cela, nous pouvons avancer quelques points :

- En hiver, les habitants se calfeutrent, bouchent plus facilement les aérations et mettent du chauffage. La production de monoxyde de carbone par les appareils de chauffage, les départs de feux liés aux conduits de cheminée mal entretenus, ne peuvent qu'accroître le risque d'occurrence des phénomènes.
- Le bris d'une vitre est souvent la cause d'un emballement thermique par l'apport de comburant que cela provoque. Sachant que la rupture d'une vitre est souvent provoquée par la différence de température entre ses deux faces (choc thermo-différentiel) , le fait qu'une des faces soit exposée à un vent froid accentue sans doute ce risque. Toutefois, la présence de plus en plus fréquente des doubles vitrages limite ce phénomène.
- Les interventions sont souvent plus compliquées en saison froide : personnel moins à l'aise, risque de glisser, tuyaux moins « souples » lors de leur mise en place, pièces métalliques pas toujours faciles à manipuler, risque de gel des établissements (accentué par le fait que dans les feux de locaux, les débits sont souvent importants mais sur un temps très court), et enfin gêne accrue lorsque l'on est mouillé (froid).

## Des cas extrêmes

Notre travail étant destiné à l'usage des sapeurs-pompiers, tous pays confondus, il semble logique de ne pas se cantonner dans des températures telles que celles que nous connaissons majoritairement en France.

Ainsi au Québec, les interventions se déroulent parfois par des températures de  $-30^{\circ}\text{C}$ , ce qui engendre encore plus de complications. Ainsi que nous l'a indiqué un de nos contacts au Canada :

*« Les bornes d'incendie dans les rues doivent être vérifiées pour s'assurer qu'elles sont fonctionnelles (pas gelées) car ceci pourrait retarder l'arrivée de l'eau aux autopompes.*

*Attention à l'eau qui se transforme en glace dans les escaliers et les rues. Le personnel risque des engelures. Toujours laisser un écoulement d'eau à la lance pour ne pas qu'elle gèle ( une fermeture complète de la lance d'environ 15 sec. à  $-30^{\circ}\text{C}$  peut rendre l'établissement inutilisable).*

*Par la suite lors du rangement, nous devons chauffer les raccords afin de les dégeler et comme les tuyaux sont plein de glace et ne peuvent être roulés nous devons parfois les ranger sur le parc d'échelle (camion échelle) afin de les ramener à la caserne pour les déglacer ! »*



Photo firehouse.com

Ce sont ces écarts de températures qui nous ont incité à réaliser tous nos calculs avec  $-30^{\circ}\text{C}$  comme valeur minimum et  $+25^{\circ}\text{C}$  comme valeur maximale, ceci permettant d'obtenir des informations aptes à être utilisées dans la plupart de cas.

### ***Des explications plus poussées ?***

Les accidents qui ne se produisent pas lors d'une saison jugée comme « froide » se produisent assez souvent avec de mauvaises conditions météo. C'est le cas de l'accident de Neuilly (Paris) qui s'est déroulé lors d'une journée « fraîche », mais sans plus, en hauteur et avec un vent assez violent soufflant vers la fenêtre ouverte.

Nous avons également remarqué que l'usage des simulateurs (mini-maison, caisson) ne donnait pas les mêmes résultats en été et en hiver. Lorsqu'il fait froid, nous notons évidemment un allongement de la durée de préchauffage des caissons flashover, ce qui semble logique. Cet allongement de la durée de préchauffage est également sensible dans les mini-simulateurs.

Lorsque nous nous intéressons aux phénomènes explosifs, nous remarquons que ceux-ci se mettent en place de façon assez « simples » en été, mais qu'ils peuvent prendre des formes assez inattendues en hiver. Et lorsque le temps est très froid, avec du vent, ces phénomènes deviennent vite incontrôlables, nécessitant une grande maîtrise de la part du formateur, au risque de se retrouver dans l'incapacité d'expliquer ce qui se passe!

Il n'est donc pas possible d'expliquer l'occurrence des phénomènes par temps froid, simplement par le fait que les maisons sont alors calfeutrées ou que les appareils de chauffage fonctionnent.

### **Les gaz chaud se dilatent les gaz froid se contractent...**

La Loi de Charles, que l'on peut résumer par « *Les gaz chauds se dilatent, les gaz froids se contractent* », nous donne sans doute une partie de la réponse.

Nous savons qu'une même masse de gaz peut occuper un volume différent en fonction de la pression et/ou de la température à laquelle elle est soumise. Dans le cadre de la présente réflexion, nous cherchons à montrer l'impact des saisons (été/hiver) sur l'air. Donc, seul l'impact de la température sur l'air doit être prise en compte. Pour pouvoir opérer des comparaisons facilement compréhensible, nous allons nous placer dans les conditions suivantes : le système sera isochore (même volume) et isobar (même pression). Seule la température variera.

A pression atmosphérique égale, donc à altitude égale, un gaz n'a pas le même volume suivant qu'il est froid ou chaud. Si cela nous semble assez évident dans un incendie, c'est-à-dire dans un local dont la température dépasse les  $500^{\circ}\text{C}$ , cela semble plus « subtil » en ce qui concerne l'air, en extérieur.

Nous allons donc faire quelques calculs, ce qui nous permettra de disposer d'éléments pour étayer notre raisonnement.

## La masse de l'air

Calculons la masse d' 1 m<sup>3</sup> d'air, à différentes températures, mais à pression constante. Nous prendrons (arbitrairement) toujours la même pression, comme pression atmosphérique : 1013 mb soit 1013.25 hPa.

L'air étant un gaz (et qui plus est, un gaz dit « parfait »), nous pouvons en calculer la masse par m<sup>3</sup> avec la formule suivante :

$$\text{Masse volumique en kg/m}^3 = (P \times M) / (R \times T)$$

- P est la pression atmosphérique à l'altitude voulue (en Pascal Pa),
- M est la masse molaire de l'air sec M = 28,9644 kg/kmol
- R est la constante des gaz parfaits R = 8314,32 J/K.kmol
- T° est la température à l'altitude voulue (en Kelvin).
- TK (Kelvin) = t°C (Celsius) + 273,15

Puisque seule la température variera, nous pouvons écrire :

$$\rho = (101325 \times 28,9644) / (8314,32 \times T^\circ)$$

Regardons l'évolution de la variation de la masse d' 1 m<sup>3</sup> d'air situé dans une fourchette de température comprise entre -30°C et 25°C, puis la masse obtenue à 500°C (température d'ambiance approximative obtenue dans un local sinistré) :

| °C (Celsius) | Kelvin | Masse d'1m <sup>3</sup> , en Kg |
|--------------|--------|---------------------------------|
| -30          | 243,15 | 1,452                           |
| -20          | 253,15 | 1,394                           |
| -10          | 263,15 | 1,341                           |
| -5           | 268,15 | 1,316                           |
| 0            | 273,15 | 1,292                           |
| 5            | 278,15 | 1,269                           |
| 10           | 283,15 | 1,247                           |
| 15           | 288,15 | 1,225                           |
| 20           | 293,15 | 1,204                           |
| 25           | 298,15 | 1,184                           |
| 500          | 773,15 | 0,457                           |

Comme nous nous en doutions, plus l'air est chaud et plus il est léger.

## La dilatation de l'air

Imaginons que nous soyons en présence d'un local, avec un feu. Nous avons une ouverture (une porte par exemple) qui permet la ventilation de ce local donc du feu. Cette ouverture fait une certaine taille et permet le passage d'un certain volume d'air dont la masse importe peu.

Mais si cet ouvrant est capable de faire passer 1 m<sup>3</sup> d'air, la masse d'air transféré dans le local sera différente suivant sa température.

En reprenant les données précédemment calculées, nous voyons qu'à -30°C, 1 m<sup>3</sup> d'air à une masse de 1,452 kg alors qu'à 25 °C, ce même m<sup>3</sup> aura une masse de 1,184 kg.

Or, dès qu'il sera dans le local, cet air sera réchauffé par la température ambiante du local. Mais, 1,452kg d'air soumis à une température de 500°C ne donnera pas le même volume que 1,184kg soumis à la même température.

Dans le premier cas (air pénétrant à -30°C), le m<sup>3</sup> d'air pèse 1,452 kg, qui, chauffé à 500°C, donne :  
1,452 / 0,456 = 3,1842 m<sup>3</sup>

Dans le deuxième cas (air pénétrant à -25°C), le m<sup>3</sup> d'air pèse 1,184 kg d'air qui, chauffé à 500°C, donne :

$$1,184 / 0,456 = 2,596 \text{ m}^3$$

Pour un volume entrant de 1 m<sup>3</sup>, nous obtenons en fin de compte une différence de 0,588m<sup>3</sup>, simplement parce que dans le premier cas nous sommes en hiver, la nuit, et que dans le second cas nous sommes en plein été .

### **Le débit de l'air sur un ouvrant « standard »**

Poursuivons nos calculs en imaginons maintenant que nous ayons une porte grande ouverte, avec une vitesse de déplacement d'air d'environ 5 m/seconde au niveau de la porte.

Cette vitesse du passage d'air au niveau de la porte est un élément sur lequel nous n'avons trouvé que des valeurs approximatives. Sachant qu'un vent léger souffle généralement à 5 ou 6 m/s, et une petite brise à 10 m/s nous nous sommes basé sur la valeur minimale, à savoir 5m/s. Afin de valider nos données, nous avons filmé le déplacement de l'air au sol, dans un caisson flashover. Ce déplacement (cf image ci-dessous) est sans doute inférieur à 5m/s mais l'ouverture du caisson est totale et fait donc 2,40 m de large par 2,40m de haut. De plus, cet essai filmé a été réalisé avec une absence totale de vent. Sachant que la vitesse va augmenter avec la diminution de l'ouverture, nous avons estimé que 5 m/s était une valeur tout à fait plausible, d'autant que dans de nombreux cas, les sapeurs-pompiers confrontés aux phénomènes ont souvent parlé d'un véritable courant d'air, sensible même au travers des tenues d'intervention.



*Mouvement de l'air au sol dans un caisson flashover. Plus le feu prend de l'ampleur et plus ce mouvement s'accélère. Le déplacement des fumées au sol atteint facilement plusieurs mètres à la seconde.*

*Pour visualiser cet effet, il suffit de déposer un peu d'eau au sol : avec la température, celle-ci s'évapore et la vapeur permet alors de visualiser le courant de convection, donc une sorte d'aspiration de l'air frais depuis l'extérieur vers le foyer.*

*Photo PL Lamballais*

Les essais de modélisation de Birk [4], montrent qu'avec une porte ouverte sur 0,90m, le plafond de fumée du local qui passe en mode flashover, se trouve généralement à 1,70m du sol. En effet, il y a au moins une trentaine de centimètres en haut de la porte, qui sont occupés par l'extraction des fumées.

Calculons le volume d'air qui pénétrera dans le local, en une seconde : nous aurons un volume d'air de 0,90 m (largeur de la porte) multiplié par 1,70 m (hauteur utile de la porte) et multiplié par 5 (m/s) (vitesse au niveau de la porte parcourue par l'air), soit un total de 7,65 m<sup>3</sup> d'air.

Voyons la masse de ce volume d'air, suivant les différentes températures de nos exemples (de -30°C à +25°C), et à chaque fois, calculons le volume qui résultera de l'élévation de cette masse d'air à une température de 500°C.

| °C (Celsius) | Kelvin | Poids d'1m <sup>3</sup> | Poids de 7,65m <sup>3</sup> | Volume en m <sup>3</sup> à 500°C |
|--------------|--------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| -30          | 243,15 | 1,452                   | 11,108                      | 24,36                            |
| -20          | 253,15 | 1,394                   | 10,664                      | 23,39                            |
| -10          | 263,15 | 1,341                   | 10,259                      | 22,5                             |
| -5           | 268,15 | 1,316                   | 10,067                      | 22,08                            |

|    |        |       |       |       |
|----|--------|-------|-------|-------|
| 0  | 273,15 | 1,292 | 9,884 | 21,68 |
| 5  | 278,15 | 1,269 | 9,708 | 21,29 |
| 10 | 283,15 | 1,247 | 9,54  | 20,92 |
| 15 | 288,15 | 1,225 | 9,371 | 20,55 |
| 20 | 293,15 | 1,204 | 9,211 | 20,2  |
| 25 | 298,15 | 1,184 | 9,058 | 19,86 |

La différence de volume est visible, alors que nous ne sommes ici que sur une seule porte ouverte.

## Impact sur les phénomènes

Maintenant que nous savons que le volume d'air va varier avec la température extérieure, voyons en quoi cela peut influencer sur les phénomènes thermiques. Nous verrons s'il y a un impact sur la puissance thermique, sur la vitesse d'occurrence, et/ou sur le déroulement du phénomène lui-même.

### Impact sur la puissance thermique

Dès 1900, les travaux de Thornton ont porté sur le lien entre le comburant et la puissance thermique. Complétées par les travaux de Huggett [6] et ceux de Babrauskas [7] sur le « Cone Calorimeter », ces études ont permis de démontrer que la puissance maximale émise par un local n'est pas dépendante du combustible, mais du comburant. En effet, l'apport en comburant étant toujours limité, même dans le cas d'ouvertures de grandes tailles, l'extension du feu dépend rapidement du volume de comburant disponible.

Ces travaux montrent que 1m<sup>3</sup> d'oxygène pur permet d'entretenir une combustion qui permettra une production thermique de 19,7MW. Or, bien qu'il y ait 21% d'oxygène dans l'air, étant donné qu'en dessous de 14% (environ) il n'y a plus de flammes possibles, seuls 7% du volume sont disponibles pour la combustion. Nous en déduisons qu'1m<sup>3</sup> d'air peut entretenir une combustion de 7% de 19,7 MW, c'est-à-dire 1,38 MW.

Nous pourrions donc penser que la différence de volume produit par la différence de température extérieure, pourrait avoir une influence. Reprenons les valeurs extrêmes du tableau précédent, en imaginant que la porte reste ouverte 30 secondes. Nous obtenons les volumes suivants :

- Avec de l'air à -30°C :  $24,36 \times 30 = 730,80 \text{ m}^3$
- Avec de l'air à +25°C :  $19,86 \times 30 = 595,80 \text{ m}^3$

Soit une différence de  $730,80 - 595,80 = 135 \text{ m}^3$

Sur les 30 secondes de ventilation prises en exemple, la différence de 135m<sup>3</sup> aurait donc un impact potentiel de  $135 \times 1,38 \text{ MW} = 186,30 \text{ MW}$  ? L'idée est « séduisante »... mais fautive. En effet, le local dans lequel se produit l'incendie, possède des dimensions fixes. Le volume d'air à 500°C qui peut s'y trouver, est donc limité.

En effet, si le local fait par exemple 3m de large, 4m de long et 3m de haut, il a un volume de 36m<sup>3</sup>. Et quelle que soit la température ambiante, le volume du local sera toujours la même.

En termes de volume d'air présent à un instant donné dans le local, le fait que cet air rentre à une température de -30°C ou à +25°C, ne change donc rien.

La différence de température extérieure n'a donc pas d'influence sur la puissance thermique maximale potentielle d'un local.

### Impact sur les chances d'occurrence

Pour atteindre le flashover, le local doit émettre une certaine puissance thermique, mais qui relative au volume du local. Si nous prenons un local de 50m par 50m et que nous y allumons un feu composé seulement d'une petite corbeille à papier, sans rien autour, nous n'atteindrons jamais le flashover.

Prenons l'exemple d'un feu de local : une pièce avec un fauteuil, un canapé etc... Au départ, le feu concerne une toute petite quantité de combustible et à ce stade, la quantité de comburant disponible suffit largement à entretenir cette combustion. Nous disons alors que le feu est contrôlé par le

combustible, puisque c'est la quantité de combustible en cours de « traitement » qui détermine la dimension du feu.

Au fur et à mesure, le comburant contenu dans le local est consommé par la combustion, et la fenêtre ouverte va permettre son renouvellement. La section de passage de l'ouvrant permettant un renouvellement conséquent, le foyer va pouvoir se développer assez rapidement, jusqu'au moment où la demande en comburant va être supérieure à ce que peut offrir l'ouvrant.

*Note : l'analyse ci-dessous ne devrait pas être utile car tout sapeur-pompier devrait connaître ce mode d'évolution. Mais nous constatons que ce n'est pas le cas, et comme au moment où nous écrivons ce document, le document comparant les feux d'extérieurs et d'intérieurs, et expliquant tout ceci, n'est pas disponible, nous mettons ici une explication simple (certains dirons « simplistes »), qui permettra de comprendre les enjeux de la ventilation.*

Imaginons un local disposant d'un volume de 100 unités de comburant, avec une fenêtre ouverte permettant un renouvellement de 20 unités. Le déroulement est en quelque sorte un film, dont chaque image peut-être analysée, afin de voir ce qui est consommé et ce qui est renouvelé. Le résultat est schématiquement le suivant :

| Temps | V. disponible | Conso. (feu) | Reste | Fenêtre | Reste |
|-------|---------------|--------------|-------|---------|-------|
| T0    | 100           | 2            | 98    | 2 / 20  | 100   |
| T1    | 100           | 5            | 95    | 5 / 20  | 100   |
| T2    | 100           | 10           | 90    | 10/20   | 100   |
| T3    | 100           | 20           | 80    | 20/20   | 100   |
| T4    | 100           | 40           | 60    | 20/20   | 80    |
| T5    | 80            | 60           | 20    | 20/20   | 40    |
| T6    | 40            | 40           | 0     | 20/20   | 20    |
| T7    | 20            | 20           | 0     | 20/20   | 20    |

*V. disponible = comburant disponible. Au départ, 100 unités.*

*Conso (feu) = consommation en comburant du feu. Augmente au fur et à mesure de sa croissance*

*Reste = comburant restant après cette consommation*

*Fenêtre = renouvellement de comburant par la fenêtre (20 unités maximum)*

Ce raisonnement est simplifié... et optimiste ! En effet, il ne prend pas en compte le volume occupé par les produits issus de la combustion : A chaque fois que du comburant est « pris », il se forme des gaz de combustion, des fumées etc. qui prennent de la place dans le volume. Le volume disponible n'est donc pas de 100, malgré le taux de renouvellement d'air : Il est des 100 – X unités occupées par les fumées. De même, l'abaissement du plafond de fumée va diminuer progressivement la surface d'entrée d'air au niveau de l'ouvrant, diminuant d'autant la capacité de renouvellement d'air de celui-ci.

Néanmoins ce tableau montre clairement deux choses : d'abord que le feu n'arrive jamais à consommer instantanément les 100 unités de comburant qui étaient disponibles et ensuite qu'à un certain moment, le renouvellement n'arrive plus à assurer le remplissage du local. Le renouvellement prend (en quelque sorte) du « retard ».

Rapidement l'apport en comburant va limiter la puissance thermique : nous le voyons ici, quant à partir de T5 le feu faiblit (consommation en chute), car la quantité de comburant disponible est en diminution.

En toute logique, plus la fenêtre va être ouverte en grand et plus le renouvellement réussira à compenser longtemps la consommation de comburant et laissera donc au feu le temps de monter en puissance, donc d'avoir la chance de produire assez d'énergie pour atteindre le flashover.

Et là, l'hiver aggravera les choses : pour une même surface d'ouverture, nous avons vu que de l'air frais apportera plus de comburant que de l'air chaud. Cela veut donc dire que le débit de renouvellement sera plus grand, donc que le feu sera mieux « ventilé ».

Attention, cela ne veut pas dire qu'à un instant donné le feu sera plus puissant en hiver qu'en été : s'il ne consomme que 5 unités de comburant, le renouvellement nécessaire ne sera que de 5 unités.

Mais par contre, en été, la diminution d'intensité du feu se fera à un moment où, en hiver, le feu continua à progresser.

En fait, en hiver le feu pourra continuer à progresser un peu plus longtemps qu'en été, et aura donc un peu plus de chance d'atteindre l'intensité thermique susceptible de donner naissance au flashover.

### ***Impact sur la vitesse de déclenchement du flashover***

Le flashover se produit généralement dans un local ventilé. Or, le temps que met le flashover pour se produire dépend en grande partie de la ventilation du local. Plusieurs études ont été menées à ce sujet, et entre autres celle de David Birk [4]. Ces travaux cités par Paul Grimwood [5] ont porté entre autres sur la modélisation informatique d'un feu dans une salle d'hôtel, en limitant ce feu à une chaise.

La modélisation a eu pour but de montrer l'influence de l'ouverture de la porte, et a donné les résultats suivants :

- porte ouverte de 90 cm – flashover en 2,38 minutes (soit 143 secondes)
- porte ouverte de 30 cm – flashover en 2,82 minutes (soit 169 secondes)
- porte ouverte de 15 cm – flashover en 4,28 minutes (soit 257 secondes)
- porte ouverte de 7,5 cm – flashover en 6,97 minutes (soit 418 secondes)
- porte fermée – le flashover ne se réalise pas

Ceci conforte l'idée générale de notre tableau : pour atteindre le seuil nécessaire au flashover, il faut un renouvellement d'air le plus important possible. Dans le cas d'une porte ouverte complètement, ce seuil est assez facile à atteindre. Dans le cas d'une porte ouverte de seulement 7,5 cm, ce seuil est plus difficile à atteindre. Et à l'extrême (passage trop faible) , il ne se déclenche pas, le phénomène s'orientant vers une situation de type « backdraft ».

Or nous avons vu qu'en hiver, l'abaissement de température rend un même volume d'air plus lourd. Cela induit que pour un temps de passage donné, au travers de la surface d'un ouvrant, il entrera plus d'air dans une pièce en hiver qu'en été. Nous en déduisons donc que dans des locaux identiques, avec la même ouverture, le phénomène mettra un peu moins de temps à se déclencher en hiver.

#### **Le froid, élément bénéfique ?**

Durant la rédaction de ce document, de nombreuses idées ont été émises. Nous nous sommes demandé si l'apport d'air froid dans le local ne ralentirait pas l'apparition des phénomènes, grâce à l'action de refroidissement. Dans la réalité, c'est plus souvent l'inverse qui semble se produire. Nous avons constaté que dans un mini-simulateur ou un caisson-flashover, le temps de démarrage était plus long en hiver. Cela provient essentiellement du fait que ces locaux ne sont pas isolés : c'est donc le local lui-même qui est froid et qui allonge le temps de démarrage, contrairement à ce qui se passe dans une habitation où les radiateurs maintiennent la température. Par contre, une fois le feu en place, le fait que l'air apporté soit froid, ne change rien. Pour s'en persuader, il suffit de regarder les photos ou les vidéos montrant le courant de convection : afin de créer cette « visualisation », nous donnons un coup de lance à incendie au sol. Compte tenu de l'ambiance thermique, l'eau s'évapore rapidement et c'est la vapeur qui permet la visualisation du courant de convection. Cela montre donc que de l'air, même froid, se trouve très rapidement réchauffé, dès son entrée dans le local, et qu'il arrive au foyer avec une température déjà élevée. En clair, la différence de température que l'on peut relever à l'entrée du local est certainement minimisée, dès que l'air a parcouru quelques mètres.

### ***Impact sur la facilité d'apports d'air***

Le froid facilite également la pénétration du flux : dans le local, l'air est chaud, et produit une surpression, qui va empêcher l'air extérieur de rentrer. Or, cette surpression se trouve logiquement en partie haute. Plus l'air entrant est froid, plus il est près du sol, et donc moins il est sensible à la surpression de la partie supérieure. Cette différence de poids va donc lui permettre de rentrer plus facilement dans le local.

Dans le cas de l'ouverture d'une porte sur un local en mode pré-backdraft, la modification du mélange comburant-combustible va être influencée par cette différence, d'autant que le retour du courant de convection (traduction correcte du terme backdraft) a tendance, à cet instant à se faire de façon très violente, donc avec un courant de convection rapide et un apport d'air important, en très peu de temps.

## Le cas du backdraft naturel

Les variations de volume d'air en fonction de la température expliquent sans doute le phénomène de backdraft naturel. Observé par plusieurs personnes, soit en intervention soit sur des simulateurs, ce phénomène fait malheureusement l'objet de peu de descriptif [9].

Il est surtout observé par temps très froid, avec des locaux contenant une faible quantité de combustible, donc un feu avec une « base » assez fragile (peu de braise).

Au départ, le feu ventile naturellement, avec une extraction des fumées par le haut de l'ouvrant et une aspiration par le bas. Au fur et à mesure de l'évolution du foyer, la couche de fumée descend, diminuant d'autant la hauteur disponible pour l'entrée d'air.

A un certain moment, le principe de ventilation change et entre dans une phase cyclique avec deux étapes qui se succèdent : dans la première, les fumées sont extraites par la totalité de la hauteur de l'ouvrant et dans la seconde étape c'est l'aspiration qui se fait de façon générale.

*Note: c'est lorsque ce cycle se met en place que l'on observe une descente très rapide du plafond de fumée, signe de l'imminence du phénomène.*



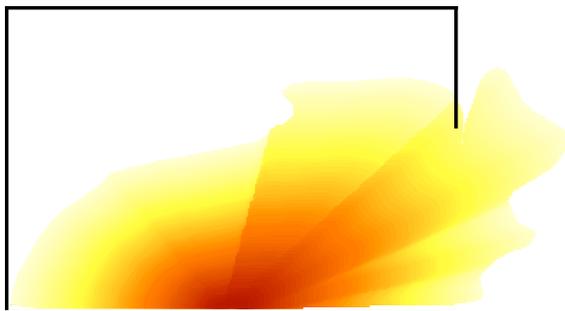
*Phase d'expiration. La totalité de l'ouvrant est utilisé pour la sortie des fumées.*



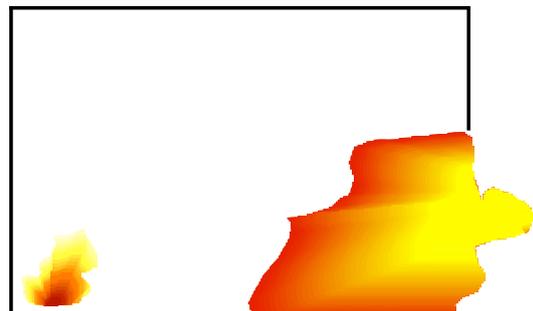
*Phase d'aspiration du comburant. L'air frais rentre par le bas, moins d'extraction de fumées*

Lorsque le feu est important, donc avec une masse combustible « solide » assez conséquente, le front de flamme qui sort du local lors de l'extraction des fumées, reste généralement « collé » au combustible. Il semble donc qu'il s'étende de cet élément « solide » jusqu'à l'extérieur.

Par contre, lorsque la base « solide » du foyer est minime, le front de flammes « décolle » de cette zone.



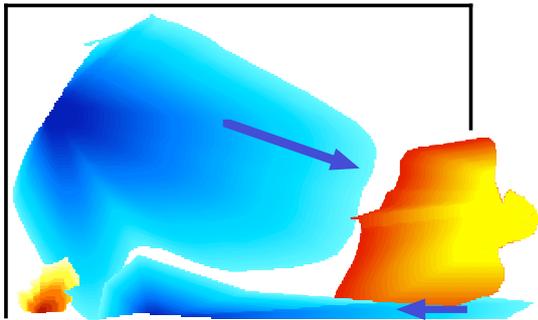
*Avec une masse solide importante, le foyer reste enflammé, même lors du déplacement du front de flamme.*



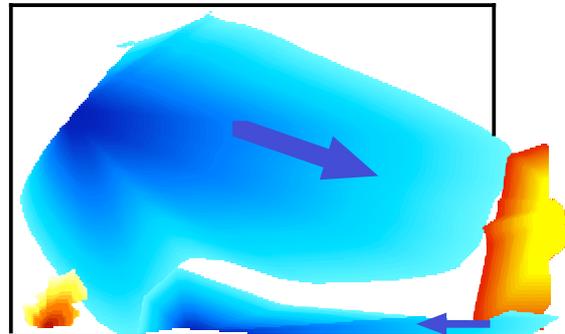
*Avec une faible masse solide, le foyer s'éteint assez souvent surtout lors du déplacement du front de flamme.*

Lorsque la base « solide » est minime (combustible solide en petite quantité), l'influence du froid peut se faire sentir: plus l'air entrant va être froid, plus sa dilatation dans le local va donner un grand volume une fois dilaté et créer une surpression importante, propice à déplacer le front de flammes vers l'extérieur.

Or, lors de son déplacement vers l'extérieur, le front de flamme est fragilisé et peut être détruit par un simple courant d'air. Lorsque cette destruction se produit, le local entre alors en mode pré-backdraft: extinction des flammes et production de gaz de pyrolyse : le feu a été soufflé, et il n'y a plus de flammes du fait du cisaillement de celles-ci par le courant d'air. Lorsque le courant de convection se remet en place, le feu repart et les gaz surchauffés explosent.



*Dans le cas d'une entrée d'air « chaud », le volume résultant provoque une surpression qui déplace le front de flammes.*



*Dans le cas d'une entrée d'air froid, le volume résultant va être plus important et va déplacer le front de flammes de façon plus importante, en le fragilisant.*

## Conclusion

L'hiver est un facteur aggravant, cela ne fait désormais plus de doutes. De plus, les actions sont pénalisées par le froid et sont souvent plus lentes qu'en été, alors que, paradoxalement il faudrait qu'elles soient beaucoup plus rapides.

Si la prudence doit toujours être de mise dès que le feu implique un local, il est donc conseillé de faire encore plus attention dès qu'il fait froid.

## Les auteurs



Sapeur Pompier Volontaire en France, Pierre-Louis LAMBALLAIS étudie les progressions rapides du feu (PRF) depuis le début 2001. Auteur de nombreuses traductions pour le site Firetactics.com (Paul Grimwood, Shan Raffel...) il a formé des sapeurs-pompiers Français et étrangers sur les phénomènes thermiques et a accueilli de nombreux Officiers sur le plateau technique dont il a assuré la mise en œuvre. Responsable du site [flashover.fr](http://flashover.fr), il est joignable à l'adresse : [pl.lamballais@flashover.fr](mailto:pl.lamballais@flashover.fr)



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 conçoit, réalise et exploite à des fins d'optimisation des procédés en Génie Chimique et Thermique. Chimiste de formation, il participe à la traduction, rédaction ou relecture d'articles relatifs aux PRF. Il est joignable à l'adresse : [franck.gaviot-blanc@flashover.fr](mailto:franck.gaviot-blanc@flashover.fr).

## Bibliographie – Références

- [1] - « Guide du Formateur. Explosion de fumées, Embrasement Généralisé Eclair ». Extrait du rapport Pourny. Ministère de l'Intérieur (France).
- [2] - « Fatal accident investigation – Blaina » ». Fire Brigades Union (UK)
- [3] - « Keokuk fatality – 1999 ». Death in the line of duty. (NIOSH <http://www.cdc.gov/niosh/>)
- [4] - « An introduction to mathematical fire modeling » par David Birk
- [5] - « La lutte contre l'incendie et ses dangers : l'utilisation du jet diffusé » par Paul Grimwood, Koen Desmet et Sébastien Gras (Cemac – Firetactics).
- [6] - « Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements » par Clayton Huggett. *Fire and Materials* 4, 61-65 (1980).
- [7] - « Ten Years of Heat Release Research with the Cone Calorimeter » par Dr. Vytenis Babrauskas, (Fire Science and Technology Inc) <http://www.doctorfire.com/cone.html>
- [8] - « L'eau et feu - Les besoins en eau dans la lutte contre les feux de locaux » par PL Lamballais et Franck Gaviot-Blanc (Flashover.fr – 2005).
- [9] - « Le Backdraft ouvert » par PL Lamballais (Flashover.fr – 2005)
- [10] - <http://www.bobvila.com/ArticleLibrary/Subject/Safety/HolidayFireSafety.html>
- [11] - Photo © Peter Stubbs (12 janvier 1998) Site web : <http://www.edinphoto.org.uk>