



Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris

39 bis, rue de Dantzig
75015 Paris

<http://www.lcpp.fr/>



Le progrès, une passion à partager

Laboratoire national de métrologie et d'essais

29 avenue Roger Hennequin
F-78197 TRAPPES Cedex

<http://www.lne.fr/>

Guide du logiciel CFAST

Karine Van Niel (LCPP)
Éric Guillaume (LNE)

Karine Van Niel
LCPP
Département électricité et prévention incendie
Téléphone : +33(0)1 55 76 25 42
E-mail : karine.van-niel@interieur.gouv.fr

Eric Guillaume
LNE
Division Comportement au Feu
Téléphone : +33 (0)1 30 69 12 48
E-mail : eric.guillaume@lne.fr

Table des matières

I. INTRODUCTION	3
II. LES EQUATIONS DE CFAST	4
A. GENERALITES	4
B. BASE THEORIQUE DU MODELE	5
C. JEU D'EQUATIONS DE CFAST	7
D. LIMITATIONS DE L'HYPOTHESE DE STRATIFICATION	8
III. UTILISATION DU LOGICIEL	9
A. GENERALITES	9
1. <i>Données d'entrée et de sortie</i>	9
2. <i>Hypothèses et limitations</i>	11
3. <i>Vérifications et validations du modèle</i>	11
B. UTILISATION DU LOGICIEL ^[6]	12
1. <i>Les 5 onglets : File, Run !, Tools, View et Help:</i>	13
a) L'onglet <i>File</i> (Fichier)	13
b) L'onglet <i>Run !</i> (Execution)	13
c) L'onglet <i>Tools</i> (Outils)	15
d) L'onglet <i>View</i> (visualisation)	17
e) L'onglet <i>Help</i> (aide)	18
2. <i>Les différents paramètres de la simulation</i>	18
a) L'environnement de la simulation (<i>Simulation Environment</i>)	18
b) Création de la géométrie des compartiments (<i>Compartment Geometry</i>)	21
c) Les connexions horizontal (<i>Horizontal Flow Vents</i>)	25
d) Les connexions de flux vertical (<i>Vertical Flow Vents</i>)	27
e) Les ventilations mécaniques (<i>Mechanical Flow Vents</i>)	28
f) Les feux (<i>Fire</i>)	30
g) La détection et les sprinklers (<i>Dectection/Surpression</i>)	36
h) Cibles (<i>Targets</i>)	38
i) Les connexions surface (<i>Surface Connections</i>)	40
3. <i>Comment réaliser une simulation ?</i>	41
4. <i>Paramètres de la visualisation de la simulation (Simulation Visualization, Smokeview)</i>	42
5. <i>Les fichiers de sortie générés</i>	44
(1) Le fichier .n.csv	45
(2) Le fichier .s.csv	46
(3) Le fichier .f.csv	46
(4) Le fichier .w.csv	47
IV. LIMITES ET SENSIBILITE DU MODELE	48
A. LES LIMITES	48
B. LA SENSIBILITE	49
V. REFERENCES	58

I. Introduction

CFAST est un modèle de zone multicompartiments développé par le NIST depuis de nombreuses années. Il est maintenant à sa version 6 et possède une interface graphique. Le logiciel a été pleinement validé pour les situations du bâtiment, et de nombreuses comparaisons avec l'expérimentation ont été réalisées. L'outil a un algorithme d'extinction en fonction de la température et de la teneur en oxygène. Il gère le calcul de délai de déclenchement des sprinklers et des détecteurs.

Un modèle de zone est un programme qui prévoit les effets du développement d'un feu à l'intérieur d'un volume relativement fermé. Dans la plupart des applications, le volume n'est pas totalement fermé, car les portes, les fenêtres, et les ouvertures sont habituellement considérées dans le calcul. Des modèles de zone pour des compartiments ont été développés pour des configurations de simple pièce et de pièces multiples.

La théorie zonale consiste à modéliser le panache d'un feu et la couche de fumée résultante dans un espace confiné. Cette théorie a été développée et appliquée par plusieurs équipes dans les années 70, par exemple Zukoski ^[1]. Dans l'approche zonale, la zone d'intérêt est divisée en un certain nombre de zones, combinées par des relations (portes, circulations...) permettant de définir le domaine complet ^[2]. Dans chacune des zones, les lois de conservation de la physique sont exprimées sous forme d'équations mathématiques (les bilans matière et énergie). La mise en équation de ces modèles est bien présentée par Quintiere, dans la référence [3] et par Janssens, qui en démontre aussi les étapes numériques dans la référence [4].

La méthode consiste donc à découper le volume libre en plusieurs zones supposées isothermes, en définissant préalablement des zones solides intérieures et extérieures isothermes. La résolution des bilans massiques est réalisée entre zones, en prenant en compte les échanges de matière entre ces différentes zones. Le bilan énergétique est alors effectué en prenant en compte les échanges de chaleur (convection, conduction et rayonnement) et éventuellement l'accumulation de chaleur par les solides.

L'espace est habituellement divisé en deux zones distinctes : la couche supérieure chaude de fumée et la couche inférieure d'air plus frais. Le feu et son panache agissent comme une pompe enthalpique entre la couche inférieure et la couche supérieure chaude de fumée. En réalité, selon la taille de pièce et le débit calorifique du feu, l'interface n'est pas parfaitement définie entre la couche supérieure chaude de fumée et la couche inférieure. La couche supérieure chaude de fumée n'est pas non plus à une température uniforme (on observe les températures plus élevées plus près du feu et du panache) ; cependant, l'utilisation de deux zones uniformes reproduit une approximation raisonnable du développement d'un feu dans une pièce dans de nombreuses situations.

Concrètement, ce type de modèles est adapté au bâtiment, où chaque pièce peut définir une zone avec des caractéristiques uniques (de température, de visibilité...), et a trouvé son essor lorsque la puissance de calcul était moindre qu'actuellement. Dans beaucoup de cas d'ingénierie incendie, il se révèle suffisant (cas de

l'évacuation des immeubles, par exemple), mais montre ses limites dans la résolution de structures fines comme le développement d'un feu dans une voiture ferroviaire. C'est pourquoi ce type de modèles ne sera pas utilisé dans ce type d'étude.

Les modèles de zone permettent les études préliminaires des domaines stratifiés. Une approche utilisable est de les appliquer selon une méthode stochastique, afin de trier les situations les plus critiques. Ils s'emploient néanmoins avec prudence, car il convient de les utiliser uniquement dans des domaines où la stratification est probable.

En données d'entrée, ils nécessitent la connaissance des courbes de débits calorifiques pré-flashover (courbes issues d'essais, courbes NFPA ou courbes calculées), les propriétés thermiques des matériaux et les géométries et ouvertures. En stade post-flashover, ils nécessitent en plus de connaître la charge calorifique des locaux étudiés.

II. Les équations de CFAST

A. Généralités

Les équations utilisées dans le modèle CFAST ont la forme mathématique d'un système d'équations différentielles ordinaires (ODE). Ces équations sont établies à partir de la conservation de la masse, la conservation de l'énergie (la première loi de la thermodynamique), la loi de gaz parfaits et diverses relations pour la densité et l'énergie interne.

Ces équations permettent de calculer en fonction du temps des quantités comme la pression, la taille de la couche de fumées et les températures engendrées par l'accumulation de masse et d'enthalpie dans les deux couches de fumée. Le modèle CFAST se compose alors de l'ensemble des équations différentielles pour calculer l'environnement de chaque compartiment et d'une collection d'algorithmes permettant de calculer les conditions limites de masse et d'enthalpie requises par les équations différentielles.

Beaucoup de formulations basées sur ces hypothèses peuvent être établies sur la base des définitions de la densité, de l'énergie interne et de la loi idéale de gaz. Bien qu'analytiquement équivalentes, ces formulations diffèrent dans leurs propriétés numériques. Chaque formulation peut être exprimée en termes de débits de masse et d'énergie, représentant les échanges entre les zones du fait de phénomènes physiques.

Ces phénomènes peuvent être :

- Le transfert de chaleur par rayonnement ;
- L'entraînement d'air et le transport d'énergie par le panache. Un panache entraîne de l'énergie et de l'air vers la couche chaude de fumées ;
- Les ventilations naturelle ou forcée. Par exemple, une ouverture échange de la masse et de l'enthalpie entre les zones connectées par celle-ci.
- La convection. Celle-ci entraîne un échauffement des parois du local étudié à partir de la température des fumées ;

La modélisation du feu par zone implique l'utilisation d'équations différentielles ordinaires raides, c'est à dire que de grandes variations temporelles sont présentes dans les solutions. Dans la situation, les variations de pression sont plus rapides que celles des paramètres comme les températures de couche ou les hauteurs d'interface. Des solveurs adaptés sont requis pour résoudre les équations différentielles ordinaires utilisées dans les modèles de zone, du fait de leur raideur.

Les méthodes de Runge-Kutta ou de Prédicteur/Correcteur comme Adams-Bashforth ou Adams-Moulton requièrent des pas de temps réduits prohibitifs en temps de calcul, pour appréhender les phénomènes de faible amplitude temporelle comme la pression. Les méthodes qui calculent le Jacobien (ou qui l'approchent) ont une stabilité beaucoup plus grande pour des problèmes raides et sont ainsi plus aptes à déterminer une solution. Ces derniers sont utilisés dans CFAST.

B. Base théorique du modèle

Dans le modèle CFAST, le compartiment étudié est divisé en deux volumes : une couche relativement chaude en partie haute (indice U) et une couche relativement froide (indice L). Les attributs de chaque couche de gaz sont sa masse m_i , son énergie interne E_i , sa densité ρ_i , sa température T_i et son volume V_i . La pression est uniforme dans le compartiment et désignée par P.

Dans un compartiment recevant des fumées issues d'un compartiment adjacent, l'entrée est calculée comme une zone de panache équivalent. Pour un compartiment, et donc deux couches de gaz, le système est alors représenté par 11 variables liées entre elles par le volume, les bilans massique et énergie, et la loi des gaz parfaits :

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i}$$

$$E_i = c_v \cdot m_i \cdot T_i$$

$$P = \mathfrak{R} \cdot \rho_i \cdot T_i$$

La première équation traduit la densité d'une couche de gaz. La seconde équation décrit l'énergie interne du gaz de la couche i et la troisième la loi des gaz parfaits appliquée à une couche de gaz.

Le volume total correspond à la somme des volumes des deux couches de gaz :

$$V = \sum V_i = V_U + V_L$$

La capacité thermique à volume constant est obtenue à partir des relations thermodynamiques de base suivantes :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \text{et} \quad \mathfrak{R} = C_p - C_v$$

Dans l'air ambiant, $C_p = 1 \text{ kJ/kg.K}$ et $\gamma = 1,4$. De ces relations, quatre équations supplémentaires peuvent être définies. Les équations différentielles de la masse dans chaque couche de gaz s'écrivent :

$$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_i$$

En écrivant le bilan énergie de la couche chaude, la première loi de la thermodynamique décrit que la somme du débit d'accumulation d'énergie interne et du travail correspondant à l'expansion de la couche chaude correspond au débit entrant d'enthalpie dans la couche chaude. Cela signifie que l'augmentation volumique et de température de chaque couche proviennent de l'énergie qui y est amenée ou retirée. Dans le système instationnaire constitué par le compartiment unitaire, cette relation s'écrit

$$\dot{h}_i = \frac{dE_i}{dt} + P \frac{dV_i}{dt}$$

h_i désigne l'enthalpie de la couche i . Le premier terme de l'équation de droite désigne le débit d'énergie interne et le second le travail représenté par la variation de volume $P \cdot dV$. En considérant une capacité thermique massique C_p constante, le terme d'enthalpie s'écrit alors :

$$\dot{h} = \sum \dot{h}_i = \sum C_p \cdot \dot{m}_i \cdot T_i + \sum \dot{E}_i$$

A partir de cette expression de l'enthalpie, par substitution des deux équations précédentes pour les deux couches de gaz, il est possible d'écrire une équation différentielle pour la pression et pour le volume :

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma-1}{V} (\sum h_i)$$

$$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{P \cdot \gamma} \left((\gamma-1)h_i - V_i \frac{dP}{dt} \right)$$

A partir de cette équation du volume, la relation issue de la première loi de la thermodynamique peut s'écrire :

$$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma} \left(\dot{h}_i + V_i \frac{dP}{dt} \right)$$

Pour la densité, l'équation différentielle du volume permet d'écrire, à partir de la relation $\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_i}{V_i} \right)$:

$$\frac{d\rho_i}{dt} = -\frac{1}{C_p \cdot T_i \cdot V_i} \left((\dot{h}_i - C_p \cdot \dot{m}_i \cdot T_i) - \frac{V_i}{\gamma - 1} \frac{dP}{dt} \right)$$

Les équations différentielles correspondant à la température de chaque couche de gaz s'écrivent alors :

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{C_p \cdot \rho_i \cdot V_i} \left((\dot{h}_i - C_p \cdot \dot{m}_i \cdot T_i) + V_i \frac{dP}{dt} \right)$$

C. Jeu d'équations de CFAST

Le jeu d'équations utilisé par CFAST pour les 11 variables décrivant le système est repris ci-après. La résolution de ces équations différentielles dépend des conditions initiales, définies par 7 variables issues des équations présentées en début de chapitre précédent. Les équations différentielles présentent alors de nombreuses formes possibles, mais très peu sont utilisables. Ce nombre d'équations différentielles peut être fortement réduit.

Grandeur représentée par l'équation	Formulation de l'équation
Masse de la couche i	$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_i$
Pression totale dans le compartiment	$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V} \left(\sum h_i \right)$
Énergie interne de la couche i	$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma} \left(\dot{h}_i + V_i \frac{dP}{dt} \right)$
Volume de la couche i	$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{P \cdot \gamma} \left((\gamma - 1) h_i - V_i \frac{dP}{dt} \right)$
Densité de la couche i	$\frac{d\rho_i}{dt} = -\frac{1}{C_p \cdot T_i \cdot V_i} \left((\dot{h}_i - C_p \cdot \dot{m}_i \cdot T_i) - \frac{V_i}{\gamma - 1} \frac{dP}{dt} \right)$
Température de la couche i	$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{C_p \cdot \rho_i \cdot V_i} \left((\dot{h}_i - C_p \cdot \dot{m}_i \cdot T_i) + V_i \frac{dP}{dt} \right)$

La couche i désigne alternativement la couche supérieure et la couche inférieure, ce qui représente un total de 11 équations (la pression est une équation différentielle unique pour les deux couches de gaz). Dans ces équations, la pression est calculée à partir de la pression différentielle uniquement, afin de limiter l'instabilité numérique liée à l'utilisation d'un solveur de pression absolue.

D. Limitations de l'hypothèse de stratification

L'hypothèse de base des modèles de zone est de supposer qu'un compartiment puisse être divisé en deux zones de composition et de température uniformes. Dans CFAST, la zone correspondant au compartiment où se trouve le feu possède une zone supplémentaire correspondant au panache du feu. Dans un système stratifié, du fait de la non-homogénéité de l'interface entre air et fumées, l'erreur spatiale sur la hauteur de fumée est de l'ordre de 10 %.

De plus, le concept du modèle de zone ne peut être applicable que dans le cas où la longueur et la largeur considérées sont peu différentes. Si la pièce est assimilable à un couloir, un algorithme supplémentaire a été ajouté. Pour un compartiment dont le rapport hauteur / largeur engendrerait un panache plus large que haut, les résultats du calcul seraient aussi mis en doute. Ainsi, il convient de maîtriser le domaine d'application de son étude.

Si le rapport longueur sur largeur est d'au moins 10, l'algorithme pour les couloirs doit ainsi être utilisé. Les limites suivantes sont ainsi proposées par le NIST pour CFAST :

Groupe	Conformité	Attention requise	Utilisation de l'algorithme de couloir
Rapport Longueur (L) / largeur (W)	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$	$L / W > 5$
Longueur (L) sur hauteur (H)	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L / H > 6$
Largeur (W) sur hauteur (H)	$W/H > 0,4$	$0,2 < W/H < 0,4$	$W/H < 0,2$

III. Utilisation du logiciel

A. Généralités

Ce logiciel, CFAST gère les échanges de matière et d'énergie entre deux zones complémentaires stratifiées, l'une représentant la fumée et l'autre l'air sain. CFAST est employé pour calculer l'évolution de la distribution de la fumée, des effluents gazeux du feu et de la température dans tous les compartiments d'un bâtiment pendant un feu. Cet outil peut être utilisé sur des espaces de l'ordre de 1 m^3 à des grands espaces sur l'ordre de 1000 m^3 .

Les zones sont considérées homogènes en tous points (températures, concentrations en gaz, énergie). Ce logiciel permet par ailleurs d'enchaîner les zones, ce qui permet par exemple de caractériser une pièce et un couloir attenant, puis les autres pièces donnant dans ce couloir. Dans chacune de ces pièces, les hauteurs de stratification sont calculées. Ce logiciel peut par ailleurs être utilisé en approche stochastique, ce qui permet de faire varier rapidement l'ensemble des paramètres influents et de caractériser des situations variées d'utilisations

1. *Données d'entrée et de sortie*

Dans toute simulation, les données d'entrées sont primordiales et conditionnent bien souvent la qualité des simulations. Il n'y a pas de bonne simulation sans bonnes données d'entrée, c'est pourquoi celles-ci doivent être sélectionnées avec soin. Dans les outils de simulation de combustion, les données d'entrée vont servir à décrire l'environnement du feu. Elles ont deux origines différentes :

- Soit elles proviennent de sources bibliographiques et théoriques. Dans ce cas, il convient de bien veiller à leur adéquation avec la situation étudiée.
- Soit elles sont issues de données expérimentales spécifiques. Des essais couramment employés sont par exemple ceux du cône calorimètre.

Les données disponibles dans la littérature sont les plus facilement accessibles et présentent un avantage économique certain. Néanmoins, et en particulier dans les domaines du feu et des matériaux réels, il est souvent difficile d'être certain de leur adéquation. L'incertitude sur ces données, tant issues de la littérature que d'essais, est fondamentale [5].

Il est ainsi fréquent de confirmer des données bibliographiques par des essais de vérification. Certaines données sont par ailleurs difficiles à obtenir par expérimentation. Quand leur influence sur le résultat (la sensibilité du modèle à ces données) est relativement faible, elles peuvent alors être issues de corrélations expérimentales ou de tables génériques. Les travaux de l'ISO TC92/SC4/WG8 "Data needed for Fire Safety Engineering" sont relatifs aux données d'entrée et un document est en préparation à ce sujet (ISO CD 16731 : Fire Safety Engineering — Guidance for data needed for FSE).

Toutes les données d'entrée du modèle sont contenues dans un fichier de données d'entrées, et des bases de données sont utilisées pour les foyers et les propriétés thermophysiques des surfaces solides.

Le fichier d'entrée contient :

- Des informations sur la géométrie des bâtiments (tailles de compartiment, matériaux de construction) ;
- Les raccordements entre les compartiments :
 - Des ouvertures horizontales d'écoulement (horizontal flow opening) telles que des portes, des fenêtres ;
 - Des ouvertures verticales d'écoulement (vertical flow opening) dans les planchers et les plafonds ;
 - Des raccordements de ventilations mécaniques (mechanical ventilation connections).
- Les propriétés du feu (taille du feu et taux de production d'espèces en fonction de temps) ;
- Les caractéristiques des détecteurs éventuels, des sprinklers ;
- Les cibles pour le calcul de transfert thermique (position, taille, caractéristiques de transfert thermique).

Les matériaux sont définis par leur conductivité thermique, leur capacité thermique, leur densité, leur épaisseur, et leur comportement en combustion.

Les données de sorties de CFAST sont les variables nécessaires pour évaluer l'environnement d'un bâtiment soumis à un feu. Celles-ci incluent :

- Les températures des couches supérieures et inférieures de gaz dans chaque compartiment ;
- Les températures du plafond, des murs et du plancher dans chaque compartiment ;
- La fumée et les concentrations évidentes d'espèces de gaz dans chaque couche ;
- Les températures des cibles et le délai d'activation des détecteurs et des sprinklers.

Plusieurs données de sorties (outputs) du modèle de CFAST sont relativement peu sensibles à l'incertitude des entrées pour une large gamme des scénarios. Un exemple de sensibilité aux conditions initiales est présenté au paragraphe IV. Cependant, plus le scénario est défini avec précision, plus les résultats seront précis. Le débit calorifique est la variable la plus importante, parce que ce paramètre fournit la force d'entraînement pour les écoulements induits par le feu. D'autres variables liées à la géométrie des compartiments (taille des compartiments ou des ouvertures), sont aussi sensibles mais en général mieux définies dans une étude de situations déterminées.

2. Hypothèses et limitations

Les équations présentées précédemment sont résolues pour la conservation de la masse et de l'énergie. L'équation de mouvement n'est pas résolue explicitement, excepté par l'utilisation de l'équation de Bernoulli pour la vitesse d'écoulement aux ouvertures. Deux hypothèses simplificatrices sont définies :

- Un nombre restreint de zones par compartiments doit être à même de modéliser la situation physique (zone chaude, froide et éventuellement panaches)
- L'ensemble des équations doit être fermé sans emploi du bilan quantité de mouvement au sein des compartiments. Cette simplification filtre les problèmes d'ondes acoustiques dans et entre les compartiments.

Le concept de modèle de zone est applicable pour les environnements dans lesquels la stratification est observable. En particulier, les longueurs et largeur doivent être relativement proches et les volumes limités à environ 1000 m³. Pour traiter le cas des couloirs, un algorithme adapté est appelé. Celui-ci permet de traiter la variation de la hauteur de fumée en fonction de la distance dans le couloir.

Le modèle est très dépendant de la compétence et du soin apportés aux données d'entrée. Les prédictions du modèle se sont ainsi avérées fiables à 10 à 25 % par rapport à l'expérimentation dans un grand nombre de situations et de scénarios.

3. Vérifications et validations du modèle

Validation par comparaison avec des données expérimentales

De nombreuses validations de l'outil ont été réalisées par le NIST et des organismes tiers. Ces comparaisons peuvent être regroupées en quelques familles :

- Des comparaisons avec les essais à grande échelle effectués spécifiquement pour l'évaluation du modèle : 13 exemples sur le site du logiciel
- Des comparaisons avec des essais de la littérature ouverte précédemment réalisés (en grande partie par le NIST) : 10 exemples, comparaison avec des expériences documentées : 5 exemples
- Des comparaisons avec des expériences qui couvrent des situations spécifiques :
 - Installations nucléaires (2 exemples)
 - Essais à petite échelle (3 exemples)
 - Géométrie peu commune et algorithmes spécifiques (9 exemples)

Des exemples de validation complète par rapport à des situations multilocaux à l'aide des outils de la norme ISO 16730 et de l'analyse fonctionnelle sont présentés dans la référence [3]. Ces résultats montrent que l'erreur augmente avec le nombre de compartiments de manière significative.

Les différences entre le modèle et les expériences sont évidentes dans les comparaisons réalisées, mais la plupart de celles-ci peuvent être expliquées par :

- Des limitations du modèle :
 - Hypothèses simplificatrices,
 - Supposition d'une stratification parfaite,
 - Température uniforme des deux couches de gaz
- Des limitations expérimentales :
 - Incertitude des données mesurées
 - Effets d'inertie des capteurs, mesure de température et de rayonnement combiné.

La stabilité numérique et la robustesse de la solution ont elles aussi été étudiées. Les détails des algorithmes du logiciel CFAST ont été présentés précédemment. Les validations de l'outil sont réalisées depuis de nombreuses années par W. Jones du NIST et détaillées dans la référence [3].

B. Utilisation du logiciel ^[6]

Pour exécuter l'éditeur de fichiers du logiciel CFAST, il faut lancer le fichier CEdit.exe. Cet exécutable permet aussi l'exécution des simulations. Avant toute utilisation il faut veiller à ce que les données régionales de l'ordinateur soient en anglais. (aller dans Démarrer/Paramètres/Panneau de configuration/options régionales)

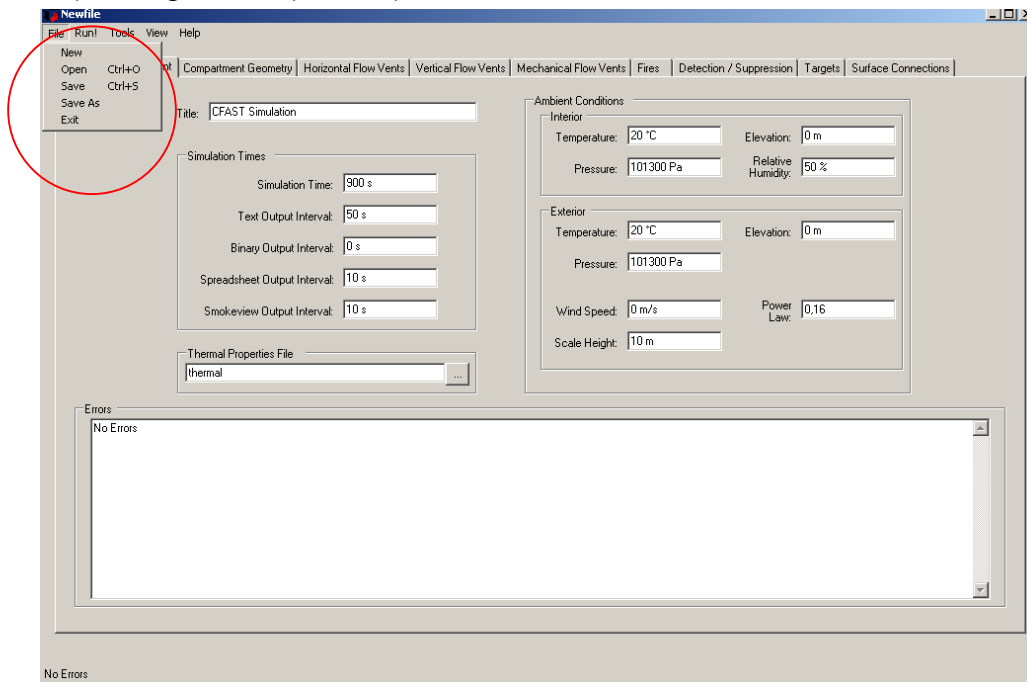
Avant de créer son propre fichier, il est conseillé de s'exercer sur un fichier déjà créé afin de voir si l'ordinateur sur lequel on travaille permet l'utilisation de CFAST, et également de modifier quelques paramètres de ce fichier afin de se familiariser avec le logiciel.

Le fichier comportant les caractéristiques de la simulation possède l'extension « .in », tous les autres fichiers auront le même préfixe que le fichier créé. Par exemple si le fichier s'appelle *simulation.in*, les fichiers attachés s'appelleront *simulation.** (* désignant l'extension des différents fichiers).

Le paragraphe suivant présente le premier écran visible lors de l'exécution de Cedit.exe.

1. Les 5 onglets : File, Run !, Tools, View et Help:

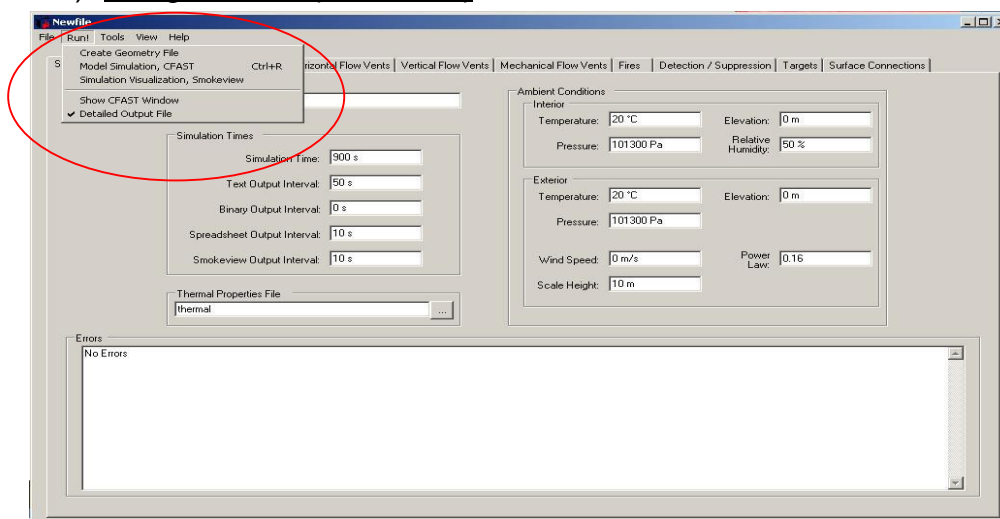
a) L'onglet *File* (Fichier)



L'onglet *File* permet:

- de créer un nouveau fichier en cliquant sur *New*
- d'ouvrir un fichier en cliquant sur *Open*
- de sauvegarder une modélisation en cours en cliquant sur *Save*
- d'enregistrer une modélisation en lui attribuant un nom en cliquant sur *Save as*
- de quitter le logiciel en cliquant sur *Exit*

b) L'onglet *Run !* (Execution)



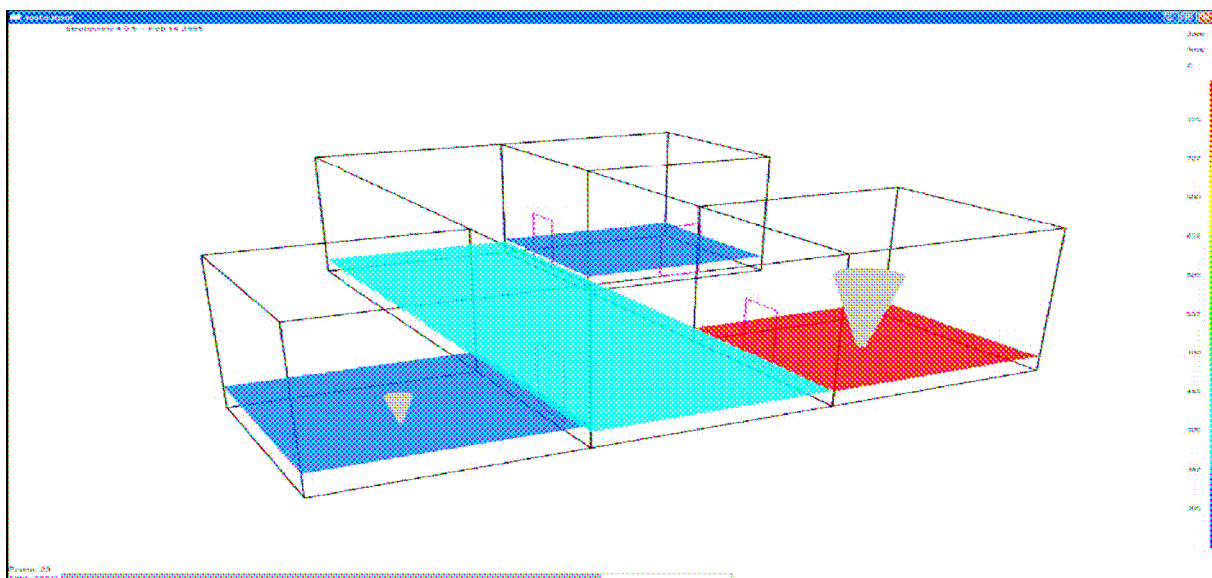
L'onglet *Run* ! permet de :

- Créer la géométrie de la simulation en cliquant sur *Create Geometry File*. Il est nécessaire d'enregistrer la simulation avant de cliquer sur cette touche.
- Lancer la simulation en cliquant sur *Model Simulation, CFAST* ; CFAST simule l'incendie à l'aide des paramètres définis. La fenêtre suivante apparaît :

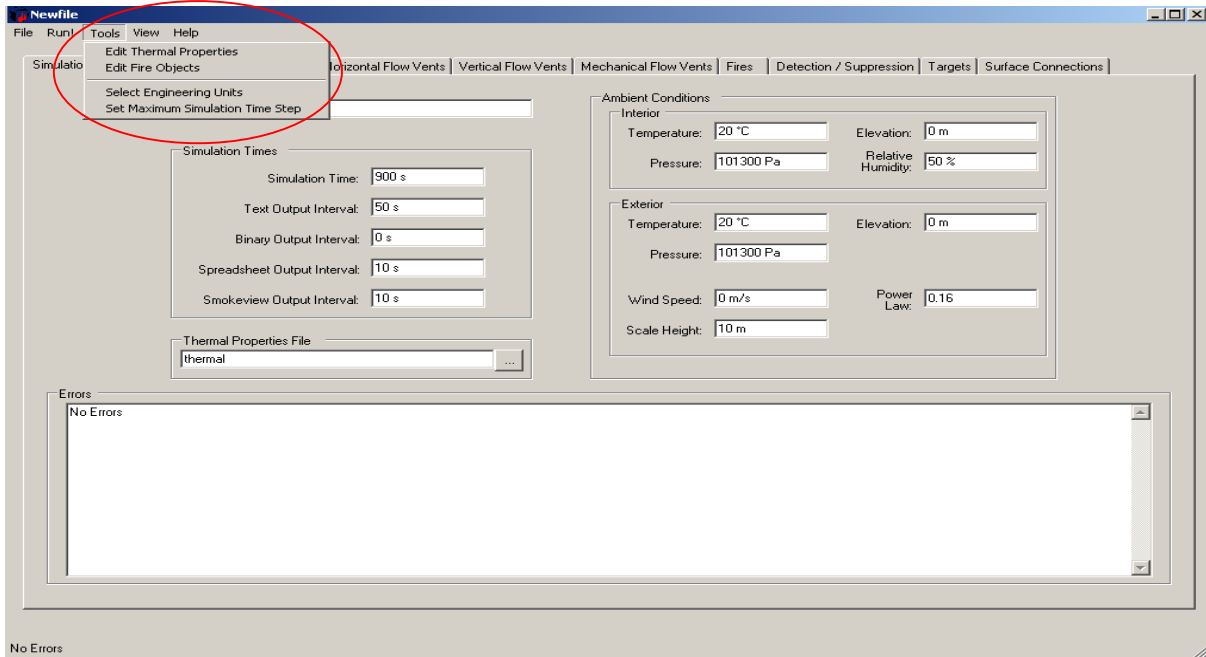
Compartment	Upper Layer Temperature (°C)	Lower Layer Temperature (°C)	Interface Height (m)	Pyrolysis Rate (kg/s)	Fire Size (kW)	Pressure (Pa)	Ambient Target Flux (kW/m²)
1	27.5	20.5	1.2	0.00022	3.28	-0.0375	0.013
2	82.8	21.6	1.2	0.00375	111.1	-0.172	0.139
3	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
4	78.9	22.8	1.3	0.00292	55.16	-0.194	0.141
5	211.5	30.8	1.2	0.01432	270.5	-0.639	0.828
6	121.4	20.9	1.8	0.00083	29.73	-0.0409	0.123
7	286.4	48.6	0.98	0.03361	633.9	-1.44	2.076
8	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
9	424.6	59.9	0.78	0.05685	1026	-2.04	4.735
Outside					0		

Le calcul peut être arrêté en cours de simulation en cliquant sur *Stop*. Le bouton *Update* permet à l'utilisateur de voir l'état du calcul en cours. Lorsque la simulation est terminée, il faut cliquer sur *Close*.

- De visualiser la géométrie et la simulation si celle-ci est effectuée, en cliquant sur *Simulation Visualization, Smokeview*. L'exécutable *Smokeview.exe* est alors lancé et le fichier chargé. La fenêtre suivante s'ouvre :

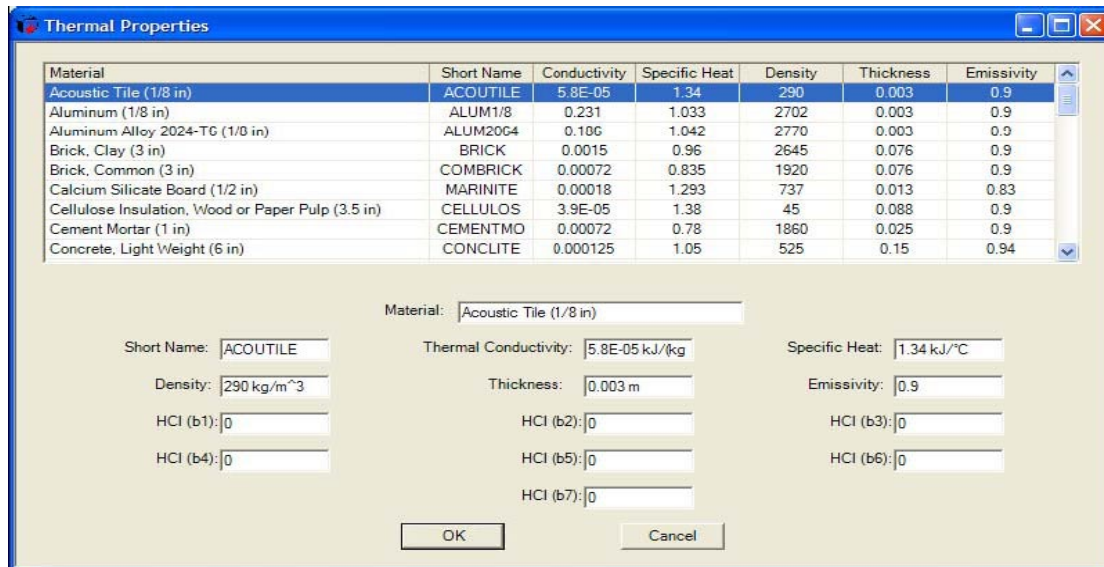


c) L'onglet Tools (Outils)



L'onglet Tools permet :

- De voir ou de modifier les propriétés thermiques des différents matériaux en cliquant sur *Edit Thermal Properties*. La fenêtre suivante apparaît :



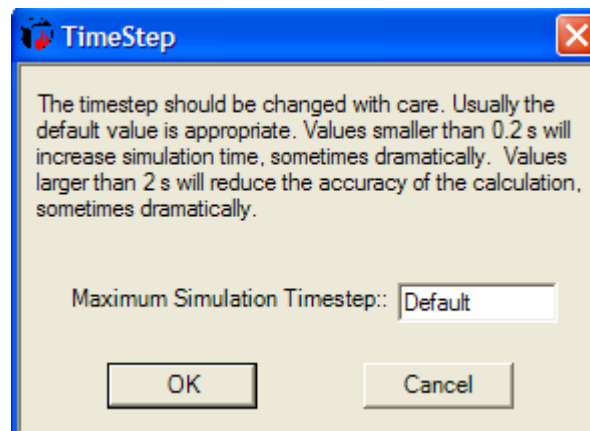
- De voir ou de modifier les paramètres du feu en cliquant sur *Edit Fire Objects*. La fenêtre suivante apparaît :

Num	Object Name	Length	Width	Thickness	Peak QDot	Peak CO/CO2	Peak C/CO2	Peak HCN	Peak HCl	HoC	Material
1	3 panel workstation	1	1	1	6710	0.003053435	0.01181102	0	0	18900	WOODSHCM
2	bunkbed	1	1	1	4620	0.018667	0.129333	0	0	18900	URETHANE
3	bunsen	0.01	0.01	0.01	350	0.07	0	0	0	50000	METHANE
4	curtains	1	1	1	240	0.003289474	0	0	0	29600	ACOUTILE
5	kiosk	1	1	1	1750	0.01181102	0.003053435	0	0	50000	WOODSHCM
6	mainfire	0.1	0.1	0.1	100	0.01	0.01	0	0	50000	METHANE
7	mattress and boxspring	1	1	1	660	0.018667	0.129333	0	0	18900	URETHANE

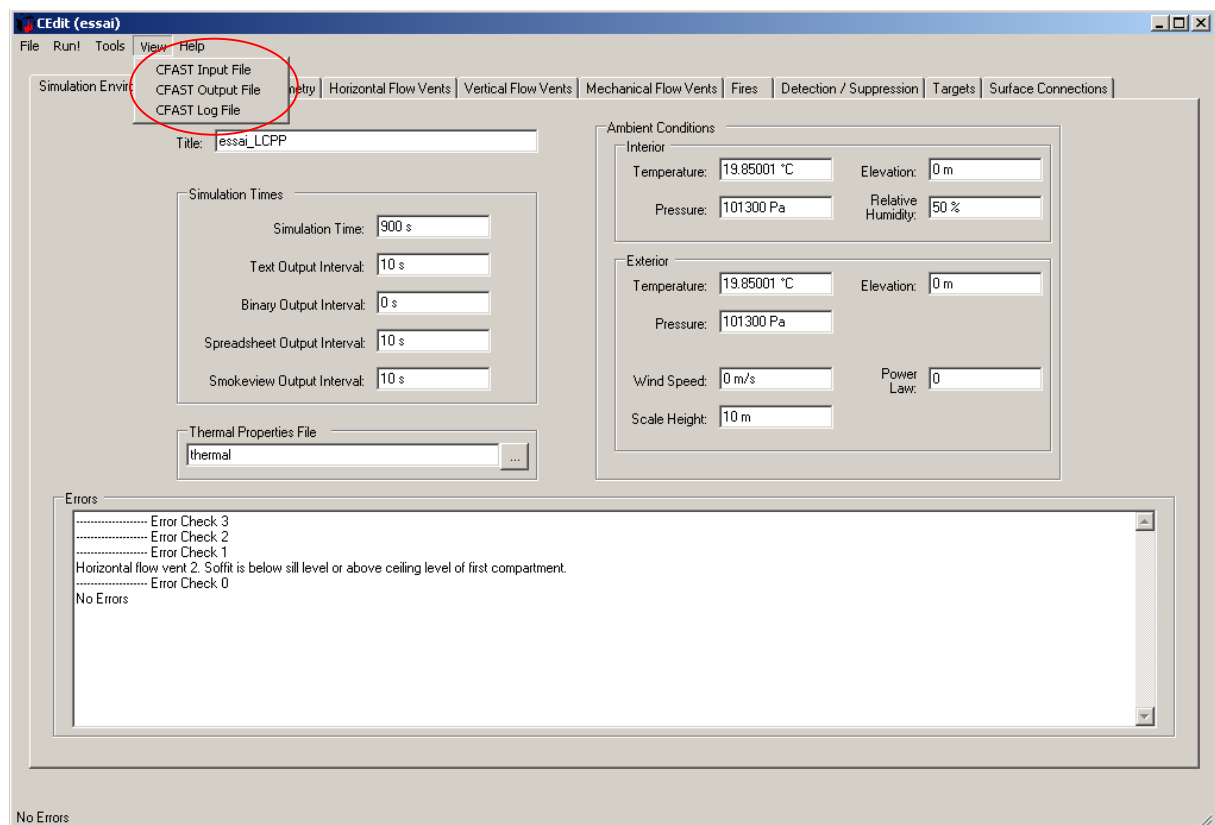
Time (s)	Mdot (kg/s)	Qdot (kW)	Height (m)	Area (m²)	CO/CO2	C/CO2	H/C	O/C	HCN (kg/s)	HCl (kg/s)	Ct
0	0.00201	38	0	0	0.003053435	0.01181102	0.08333334	0	0	0	1
50	0.00878	166	0	0	0.003053435	0.01181102	0.08333334	0	0	0	1
100	0.0107	203	0	0	0.003053435	0.01181102	0.08333334	0	0	0	1
164	0.0145	274	0	0	0.003053435	0.01181102	0.08333334	0	0	0	1
228	0.00624	118	0	0	0.003053435	0.01181102	0.08333334	0	0	0	1

- De voir ou de modifier les unités de longueur, de masse, de temps, de température, de pression et d'énergie, en cliquant sur *Select Engineering Units*. La fenêtre suivante apparaît :

- De modifier le pas de temps maximal de la simulation. Ce pas de temps doit être modifié avec précaution. Il est à noter que le pas de temps minimal est lui fonction des conditions de convergence du calcul, et est nettement plus faible en cas d'écoulements rapides.



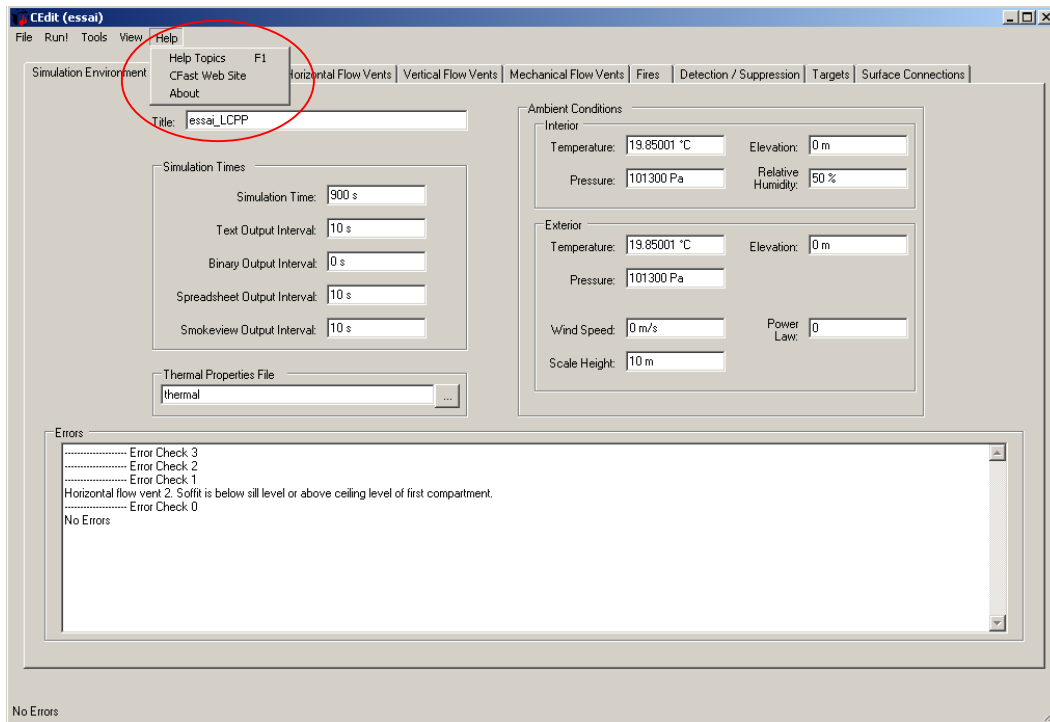
d) L'onglet View (visualisation)



L'onglet View permet de visualiser ou d'imprimer :

- Les données d'entrées de la simulation en cliquant sur *CFAST Input File*
- Les données créées par le calcul de la simulation en cliquant sur *CFAST output File*
- Le fichier de données sources en cliquant sur *CFAST Log File*

e) L'onglet Help (aide)

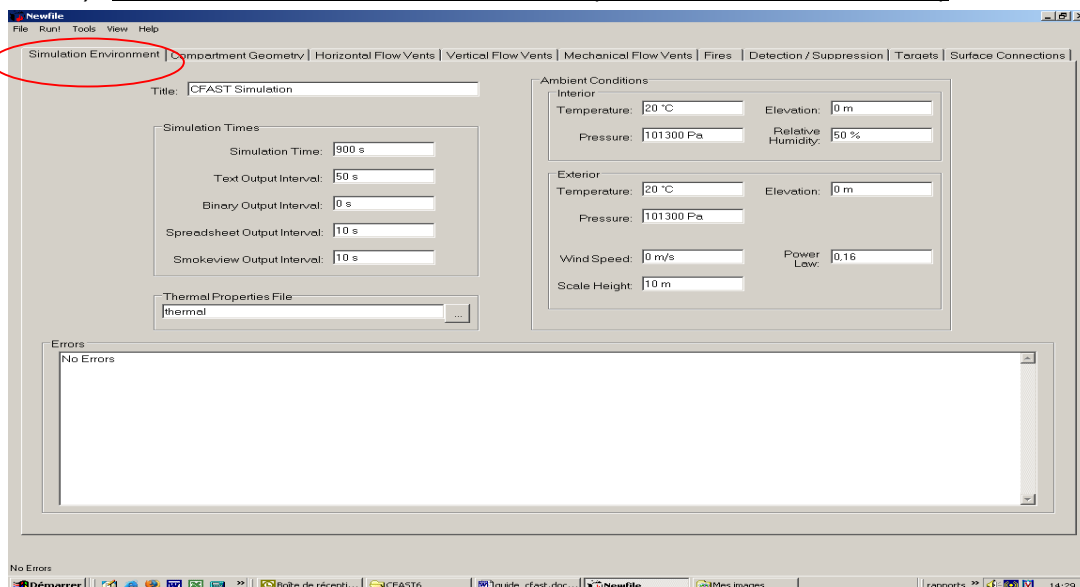


L'onglet *Help* permet de :

- De voir la notice d'utilisation (en anglais) en cliquant sur *Help Topics F1*
- D'accéder au site internet du NIST où se trouve le logiciel et les guides en cliquant sur *CFAST Web Site*
- D'avoir des informations concernant le logiciel en cliquant sur *About*

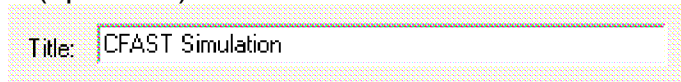
2. Les différents paramètres de la simulation

a) L'environnement de la simulation (*Simulation Environment*)

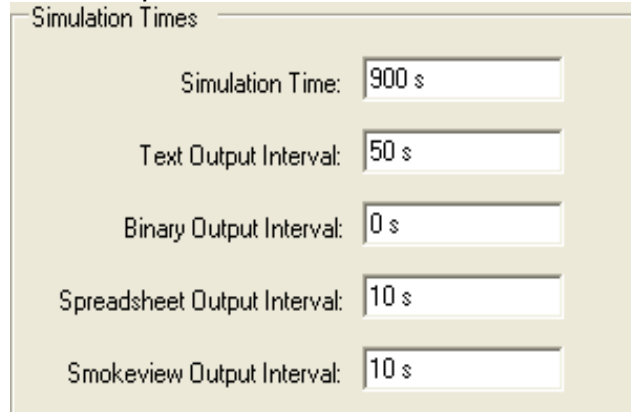


Dans cette page se trouvent les renseignements suivants:

- Le titre : *Title* (optionnel)



- Les temps caractéristiques de la simulation : *Simulation Times*



- o *Simulation Time* : temps de déroulement de la simulation dont la valeur par défaut est de 900s. La valeur maximale de ce temps est de 86400s (1 jour).
 - o *Text Output Interval* : intervalle de temps entre chaque impression des données de sortie dont la valeur par défaut est de 50s. Si la valeur est inférieure ou égale à zéro ou si elle est non renseignée, aucune valeur de sortie ne sera créée.
 - o *Binary Output Interval* : intervalle de temps entre les données de sortie au format binaire. Si l'opérateur ne désire pas de données au format binaire il doit garder la valeur par défaut qui est de zéro.
 - o *Spreadsheet Output Interval* : intervalle de temps entre chaque feuille de données Excel émises par CFAST. La valeur par défaut est de 10s et doit être > à 0 pour être créée.
 - o *Smokeview Output interval* : intervalle de temps entre chaque feuille de résultats de la visualisation. La valeur par défaut est de 10s et doit être > à 0 pour être créée.
- Le fichier des propriétés thermiques : *Thermal Properties File*, thermal est le fichier par défaut qui contient toutes les propriétés thermiques des différents éléments de CFAST.



- Les conditions ambiantes intérieures et extérieures : *Ambient Conditions*

Ambient Conditions

Interior

Temperature: Elevation:

Pressure: Relative Humidity:

Exterior

Temperature: Elevation:

Pressure:

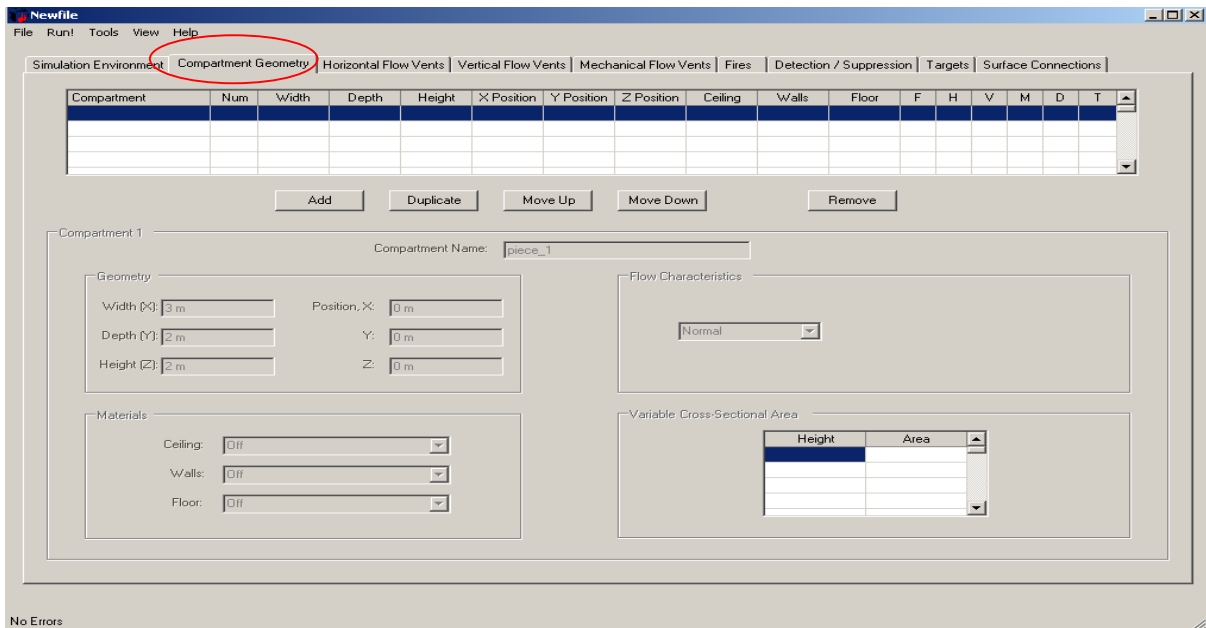
Wind Speed: Power Law:

Scale Height:

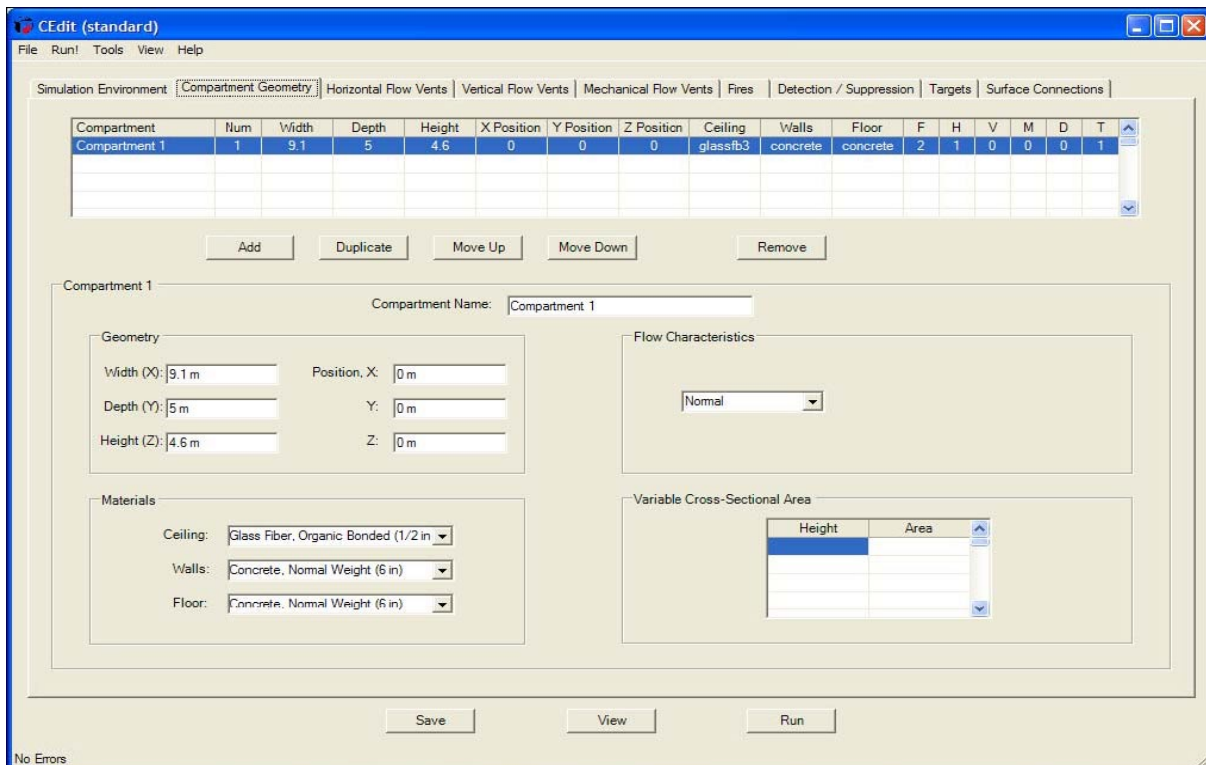
- Les températures (*Temperature*) intérieure (*Interior*) et extérieure (*Exterior*), sont à 20°C par défaut.
- Les pressions (*Pressure*) intérieure (*Interior*) et extérieure (*Exterior*), sont à 101 300 Pa par défaut. (pression standard au niveau de la mer)
- Les hauteurs (*Elevation*) intérieure (*Interior*) et extérieure (*Exterior*), sont à 0 m par défaut. Cette hauteur correspond à la hauteur où seront valables les valeurs de température et de pression.
- L'humidité (*Relative Humidity*) intérieure, la valeur par défaut est de 50%.
- La vitesse du vent (*Wind Speed*) extérieur à la hauteur spécifiée, la valeur par défaut est de 0 m/s.
- L'échelle de hauteur (*Scale Height*) permet de donner la hauteur où la vitesse du vent sera mesurée.
- Le coefficient de la loi de puissance (*Power Law Coefficient*) utilisé pour calculer la vitesse du vent en fonction de la hauteur. La valeur par défaut est de 0.16.

Le fait de changer la hauteur (*Elevation*) provoque très peu de changement pour des domaines de quelques mètres de haut. Habituellement la valeur choisie est de 0.

b) Création de la géométrie des compartiments (Compartment Geometry)



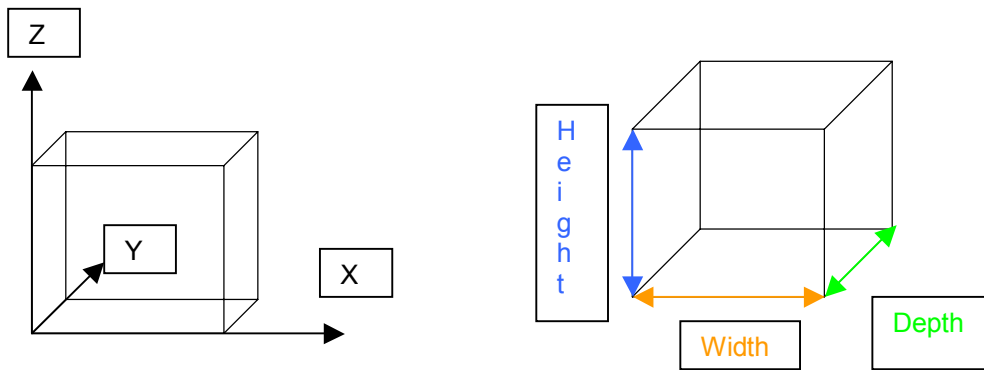
Afin de créer un compartiment il faut cliquer sur le bouton Add. Les informations suivantes du premier compartiment apparaissent alors dans la fenêtre.



Les compartiments créés sont des parallélépipèdes rectangles.

Dans cette fenêtre on peut modifier :

- Le nom du compartiment : *Compartment Name*
- Sa géométrie : *Geometry*



- Les caractéristiques d'écoulement (*Flow Characteristics*) peuvent être modifiées.

Pour les compartiments ne présentant pas de caractéristiques particulières on choisit *Normal*.

Pour les grands compartiments ou ceux éloignés de la pièce d'origine du feu, le compartiment peut être modélisé comme une zone simple. Cette approximation en simple zone est due au fait que l'écoulement des fumées est différent puisqu'on se trouve loin de la source du feu, où la stratification de la couche en deux zones est

moins prononcée par rapport aux compartiments qui sont près du feu. En effet, la vitesse de propagation est suffisamment faible pour que les fumées aient le temps de se refroidir et donc de redescendre au niveau du sol avant qu'une couche chaude occupe toute la pièce.

Ce choix est fait dans les situations où la stratification ne se produit pas. Les exemples de compartiments sont les ascenseurs, les puits, les cages d'escaliers complexes, et les compartiments éloignés du feu. Pour ce type de compartiment on choisit dans la liste déroulante *Shaft*.

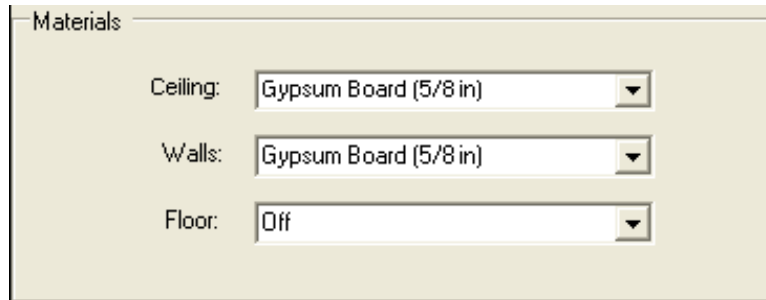
Pour les longues entrées et les couloirs, le temps de parcours de la couche de gaz chaud le long du plafond du début du compartiment vers la fin de ce dernier est important, CFAST permet d'estimer le délai d'arrivée de cet écoulement entre deux compartiments qui sont reliés à ce couloir.

Pour ce type de compartiment on choisit dans la liste déroulante *Corridor*. Les caractéristiques suivantes doivent être renseignées. Afin de savoir si le compartiment créé est considéré comme un couloir il faut se reporter au tableau suivant :

Groupe	Conformité	Attention requise	Utilisation de l'algorithme de couloir
Rapport Longueur / largeur	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$	$L / W > 5$
Longueur sur hauteur	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L / H > 6$
Largeur sur hauteur	$W/H > 0,4$	$0,2 < W/H < 0,4$	$W/H < 0,2$

50% Decay, Velocity est la vitesse du jet de plafond (voir le chapitre *Fire* pour la définition de ce terme) à la distance du point référence où la température diminue de 50%. Cette vitesse et la profondeur (Depth) par défaut sont calculés par le programme en se basant sur la taille, le débit et l'épaisseur de la couche de l'ouverture horizontale par où rentre le 1^{er} flux et au niveau de la largeur de celui-ci. Depth désigne la largeur du plafond par rapport à la distance du point référence où la température diminue de 50%. Decay est la distance du point référence où la température diminue de 50%.

- Les matériaux des plafonds (Ceiling), des murs (Walls) et des sols (Floor) peuvent être choisis grâce aux listes déroulantes.



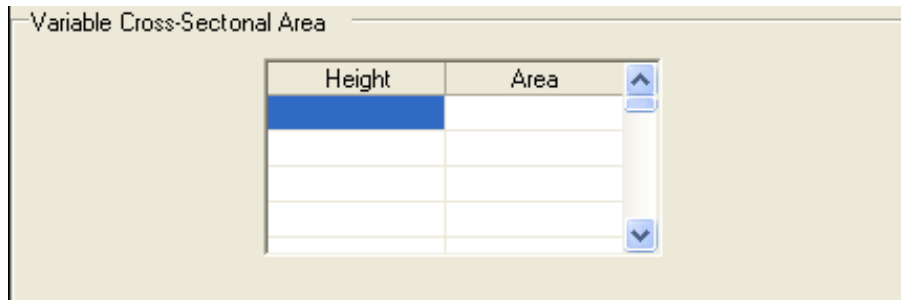
Selon le matériau choisi, il y aura transfert de chaleur de compartiment à compartiment en fonction des caractéristiques du matériau qui sont visibles et peuvent être changées en cliquant sur « Tools » et ensuite sur « Edit Thermal Properties ». Le transfert concerne aussi l'absorption d'énergie des gaz par les solides environnants, paramètre essentiel du bilan énergie.

Si aucun matériau n'est sélectionné, CFAST considère qu'aucun transfert de chaleur n'aura lieu. Parmi ces 3 paramètres le plus important est le plafond par lequel le transfert est le plus important, ensuite les murs et enfin le sol (quasiment négligeable).

- Pour rajouter un nouveau compartiment (une pièce), il faut cliquer sur « Add »
- Pour rajouter un compartiment (une pièce) identique à celui sélectionné, il faut cliquer sur « Duplicate ». Il sera rajouté en dernier par rapport aux autres compartiments.
- Pour remonter un compartiment par rapport à un autre, il faut cliquer sur « Move Up »
- Pour descendre un compartiment par rapport à un autre, il faut cliquer sur « Move Down »
- Pour effacer un compartiment, il faut cliquer sur « Remove »

Il est important de noter que l'ordre des compartiments est important c'est à dire le compartiment où se déroule le feu doit toujours être mis en première position, ensuite le second compartiment est le second qui sera atteint par l'incendie ou les gaz. L'ordre des compartiments doit être identique à celui de la propagation de l'incendie et des fumées, car la résolution des équations se fait dans cet ordre. De plus, le nombre maximum de compartiments est de 9.

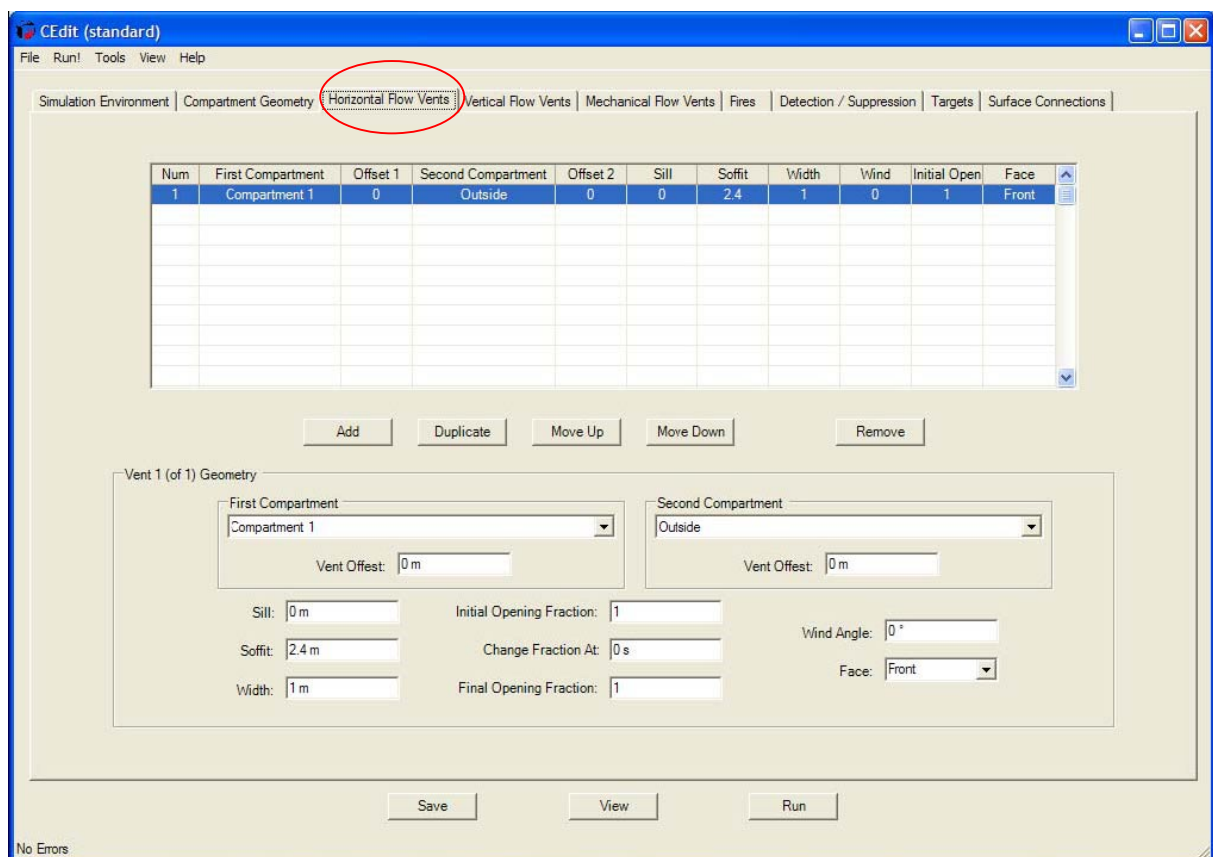
- Il est possible de définir pour des espaces non rectangulaires, la hauteur par rapport au sol (*Height*) et la surface (*Area*).



c) Les connexions horizontal (Horizontal Flow Vents)

Les connexions horizontales possibles entre 2 compartiments ou un compartiment et le milieu extérieur sont les éléments tels que les portes et les fenêtres.

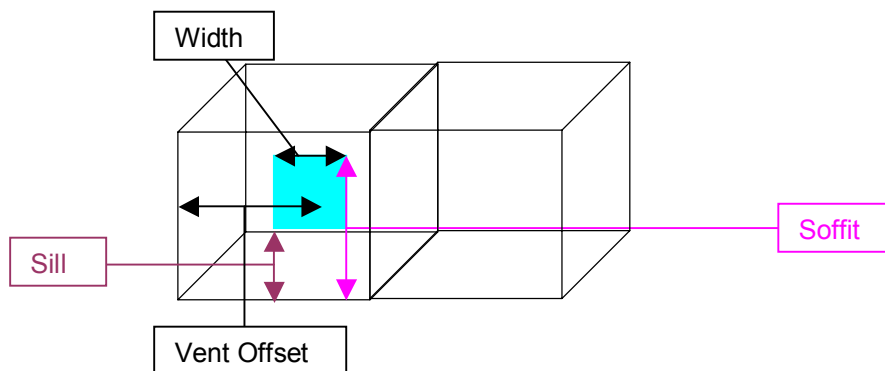
Afin de créer une connexion il faut cliquer sur « Add », il apparaît alors dans la fenêtre les 2 compartiments mis en connexion.



- Dans « *First Compartment* », on choisit grâce à la liste déroulante le compartiment auquel on veut mettre une connexion. La liste déroulante de « *Second Compartment* » permet de choisir le compartiment qui sera mis en communication avec le premier, il peut s'agir d'un compartiment ou de l'extérieur (*Outside*). *Vent offset* est la distance entre le mur de gauche et le centre de l'ouverture (voir schéma ci-dessous).

- Les dimensions de l'ouverture sont définies dans les cases ci-dessous :

Sill: <input type="text" value="0 m"/>	Initial Opening Fraction: <input type="text" value="1"/>	Wind Angle: <input type="text" value="0 °"/>
Soffit: <input type="text" value="2.4 m"/>	Change Fraction At: <input type="text" value="0 s"/>	Face: <input type="text" value="Front"/>
Width: <input type="text" value="1 m"/>	Final Opening Fraction: <input type="text" value="1"/>	



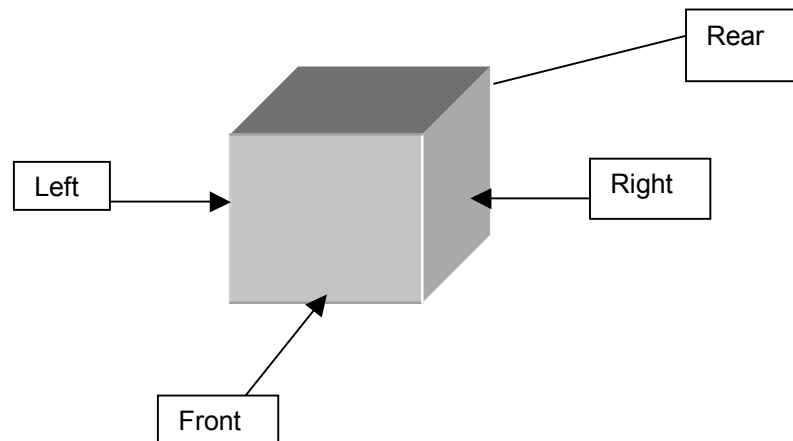
On peut également donner l'état d'ouverture de la connexion :

- À l'instant initial (*Initial Opening Fraction*), à savoir que 0 correspond à une connexion fermée et 1 à une connexion complètement ouverte. On peut également choisir un nombre compris entre 0 et 1.
- À l'instant final (*Final Opening Fraction*), à savoir que 0 correspond à une connexion fermée et 1 à une connexion complètement ouverte, on peut choisir un nombre compris entre 0 et 1.

Le temps auquel la connexion passe de la position initiale à la position finale « *Change Opening Fraction At Time* » doit être inférieur au temps de la simulation.

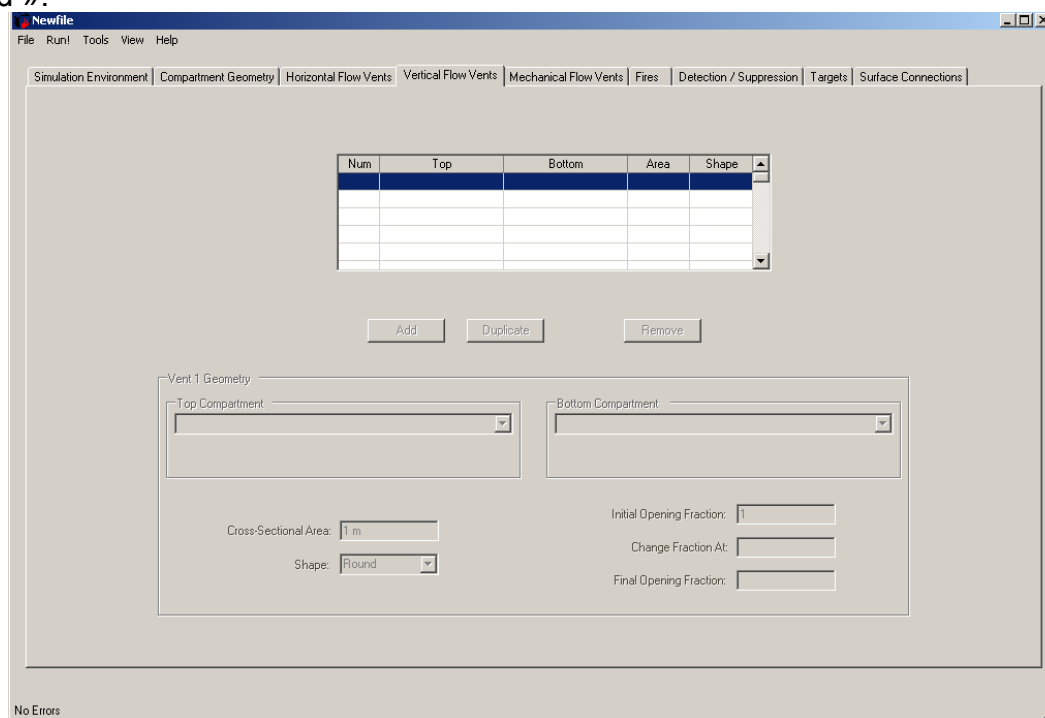
L'angle du vent (*Wind Angle*) correspond à l'angle entre le vecteur vent et l'ouverture. Cette grandeur s'applique seulement aux connexions qui donnent vers l'extérieur. Cette valeur doit être comprise entre -1.0 et 1.0 , la valeur par défaut est 0.

La position de la fenêtre doit être choisie dans la liste déroulante *Face*.



d) Les connexions de flux vertical (Vertical Flow Vents)

Il est possible de créer des ouvertures de flux vertical comme des trous dans le toit (exutoires) ou dans les planchers. Pour créer une connexion, il faut cliquer sur « Add ».

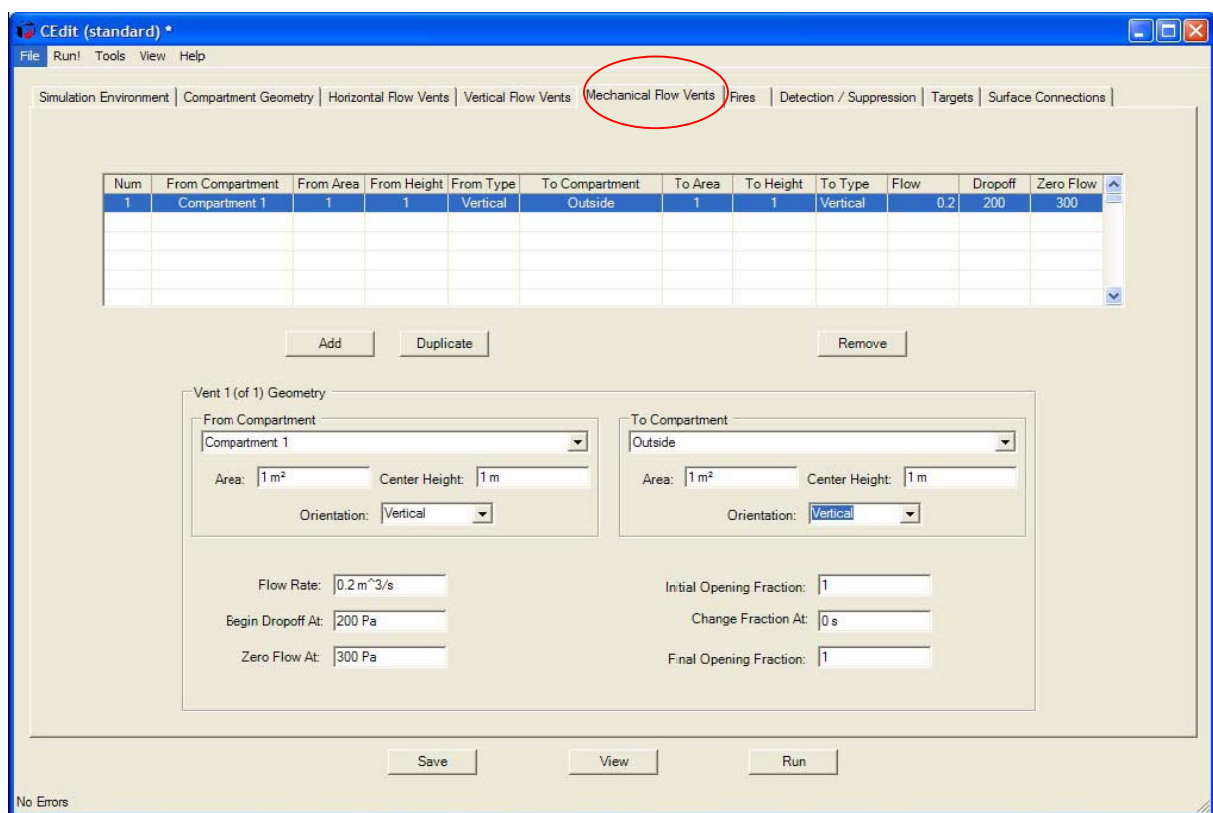


- Le compartiment supérieur (Top Compartment) doit être choisi dans la liste déroulante, l'ouverture se fait dans le plancher de celui-ci.
- Le compartiment inférieur (Bottom Compartment) doit être choisi dans la liste déroulante, l'ouverture se fait dans le plafond de celui-ci.
- La surface de la section (Cross-Sectional Area) peut être spécifiée. La valeur par défaut est de 1 m².
- La forme de l'ouverture peut être choisie dans la liste déroulante, elle peut être soit ronde (Round) soit carrée (Square).

Comme pour les ouvertures de flux horizontal, l'ouverture de la connexion peut être choisie ainsi que son moment d'ouverture (Change Opening Fraction At Time) ainsi que l'ouverture initiale de la fenêtre (*Initial Opening Fraction*) et l'ouverture finale (*Final Opening Fraction*). Il est important de noter que si on veut créer une ouverture dans le toit il faut choisir l'extérieur comme *Top* et le compartiment choisi dans *Bottom*.

e) Les ventilations mécaniques (*Mechanical Flow Vents*)

Les ventilateurs sont utilisés dans les immeubles pour la chaleur, la ventilation, l'air conditionnée, la mise en surpression et l'extraction. Pour créer une connexion mécanique il faut cliquer sur Add.



Dans *From Compartment* (à partir du compartiment)

- La liste déroulante permet de choisir le compartiment dans lequel le diffuseur va se trouver. Le débit du ventilateur concerne ce compartiment.
- *Area* permet de renseigner la surface de l'ouverture.
- *Center Height*, c'est la hauteur du centre de l'ouverture par rapport au sol.
- *Orientation*, c'est l'orientation relative du diffuseur par rapport au sol du compartiment, elle peut être verticale ou horizontale. Si elle est horizontale cela implique que le flux du diffuseur se fasse à travers un plafond ou un plancher. Si elle est verticale cela implique que le flux du diffuseur se fasse à travers un mur.

Dans *To Compartment* (vers le compartiment) doit être renseigné le dessous ou le 2^{ème} compartiment connecté par une ouverture de flux horizontal. L'ouverture se fait par le plafond de celui-ci. Les mêmes paramètres que dans *From Compartment* doivent être rentrés.

Le débit (Flow Rate) doit être renseigné, c'est le débit de l'air qui va du 1^{er} compartiment vers le second.

Une diminution de pression (*begin Dropoff At*) du débit initial doit être spécifiée, au-dessus de la valeur choisie, le débit ou le flux diminue graduellement vers zéro.

Un débit de pression zero (*Zero Flow Pressure*) doit être spécifié, c'est la pression au-dessus de laquelle le débit ou le flux au travers de la connexion de la ventilation mécanique est nul.

Comme pour les ouvertures horizontales l'ouverture de la connexion peut être choisie ainsi que son moment d'ouverture (*Change Opening Fraction At Time*) ainsi que l'ouverture initiale de la fenêtre (*Initial Opening Fraction*) et l'ouverture finale (*Final Opening Fraction*).

Il est important de noter que si on veut créer une ouverture dans le toit il faut choisir l'extérieur comme *Top* et le compartiment choisi dans *Bottom*.

f) Les feux (Fire)

Les effets d'un feu dépendent de son état de développement. Les risques présentés dans l'introduction sont donc fortement corrélés avec le stade de développement du feu. Les feux peuvent être classés en quatre catégories :

- Etape 1 : Le feu commence à se développer. Lors de cette étape, les gaz chauds issus de la combustion, qui constituent le panache montent au plafond sous l'effet des forces d'Archimède. De l'air frais est entraîné dans cette montée et attise le foyer. L'entraînement d'air dans le panache augmente le volume de fumées. Dès que ces gaz ont atteint le plafond, ils s'étalent radialement formant ainsi une mince couche appelée le jet de plafond.
- Etape 2 : La fumée constituée de particules fines commence à descendre du plafond sous l'effet de la gravité car sa température a diminué. Elle occupe peu à peu la pièce. Si la pièce n'est pas bien ventilée la température dans l'enceinte peut être très importante. De plus, le manque d'oxygène rend la combustion incomplète et la quantité de gaz imbrûlés importante. L'atmosphère peut devenir alors explosive.
- Etape 3 : Ces fumées s'étendent à d'autres pièces par l'intermédiaire des minces ouvertures. Si les portes sont fermées, la combustion peut cesser et la température lentement diminuer. Cependant, même si la réaction de combustion est arrêtée, un apport d'oxygène peut enflammer les gaz imbrûlés car la température est suffisamment élevée. Si par exemple une porte s'ouvre, alors il y a un phénomène de backdraft et l'ensemble de ces gaz dispersés dans toute la pièce réagit fortement et l'incendie se généralise.
- Etape 4 : Le feu est complètement généralisé à toute la pièce grâce au contact de l'air frais. On atteint le pic de chaleur qui va diminuer très rapidement.

Note : Ces catégories diffèrent légèrement de celles présentées dans la norme ISO TS 19706 : 2004 : *Lignes directrices pour l'évaluation des dangers du feu pour les personnes*. En particulier, dans cette spécification technique, les deux dernières catégories sont groupées.

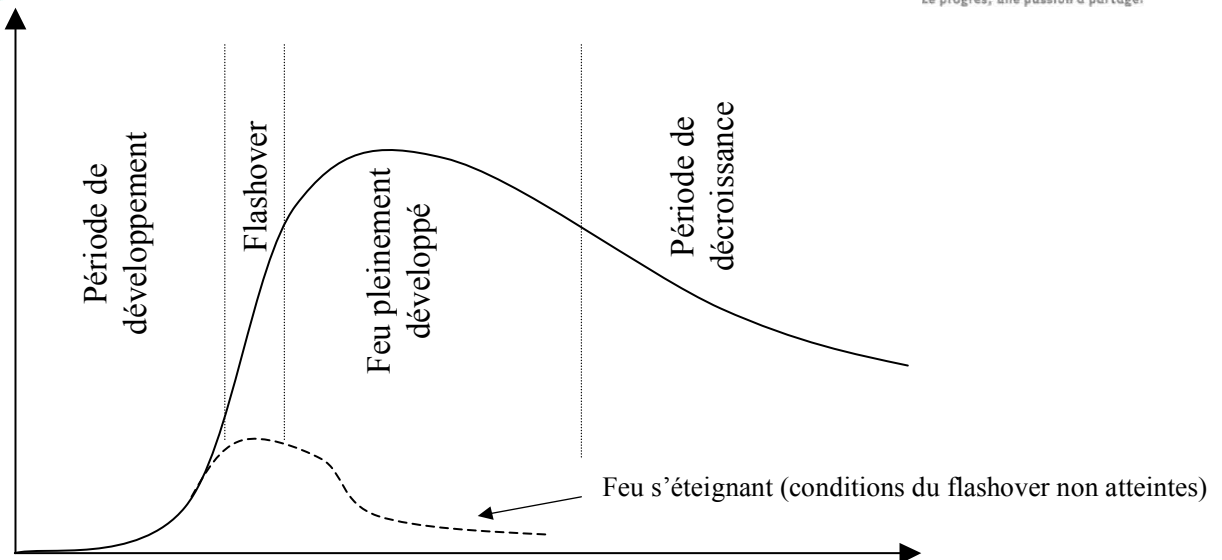
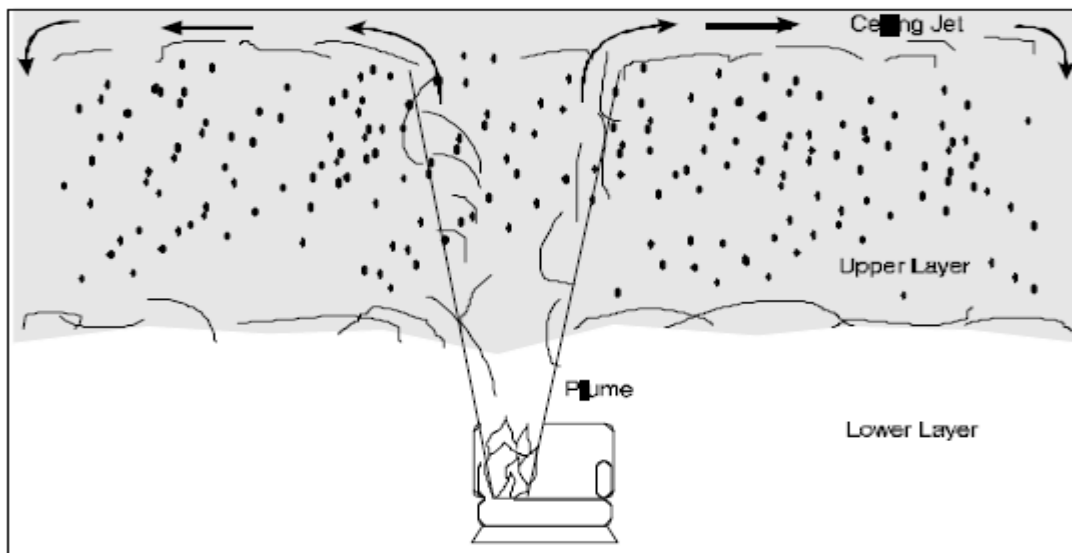


Figure 3 : étapes d'un feu en espace confiné

Le flashover est une étape de transition rapide entre la croissance et le plein développement du feu, ce qui provoque un incendie généralisé. Un phénomène apparenté est le backdraft ou retour de flamme qui concerne les milieux très confinés. Dans ce cas, le contact des imbrûlés contenus dans une pièce avec de l'oxygène par l'ouverture brutale d'une ventilation provoque une explosion.

Le schéma suivant représente les caractéristiques d'un feu pouvant correspondre à une modélisation par zones :



En ce qui concerne le logiciel CFAST, il est possible de créer un ou plusieurs feux dans un ou plusieurs compartiments. Ces feux sont traités indépendamment. Pour créer un feu il faut cliquer sur « Add ».

CEdit (standard)

File Run! Tools View Help

Simulation Environment | Compartment Geometry | Horizontal Flow Vents | Vertical Flow Vents | Mechanical Flow Vents | Fires | Detection / Suppression | Targets | Surface Connections

Num	Compartment	Object	Type	Ignition by	At Value	X Position	Y Position	Z Position	Peak Q
1	Compartment 1	bunsen	Constrained	Time	0	4.55	2.5	0	200
2	Compartment 1	Wood_Wall	Constrained	Time	0	4.55	2.5	0	1000

Buttons: Add Duplicate Remove

Ceiling Jet: Ceiling & Walls
Lower Oxygen Limit: 10 %
Gaseous Ignition Temperature: 120 °C

Fire 1
Compartment: Compartment 1
Type: Constrained
Position, X: 4.55 m Position Y: 2.5 m Position Z: 0 m
Normal, X: 0 Normal, Y: 0 Normal, Z: 1
Ignition Criterion: Time
Plume: McCaffrey
Ignition Value: 0 s

Fire Object
Fire Object: bunsen
Edit

Material: Methane, a transparent gas (CH4)
Length: 0.4 m
Width: 0.4 m
Thickness: 0.65 m
Molar Mass: 0.016 kg/mol
Total Mass: 5 kg
Heat of Combustion: 50000 kJ/kg
Heat of Gasification: 0.001 kJ/kg
Volatilization Temperature: 26.85001 °C
Radiative Fraction: 0.33

Buttons: Save View Run

No Errors

Avant de placer le feu, il faut savoir quel feu va être choisi. C'est dans *Fire Object* que l'objet incendié peut être choisi. Afin de voir les différentes caractéristiques du feu il faut cliquer sur Edit, une nouvelle fenêtre s'ouvre alors. L'objet peut être modifié si on le désire.

Fire Objects

Num	Object Name	Length	Width	Thickness	Peak Qdot	Peak CO/CO2	Peak C/CO2	Peak HCN	Peak HCl	HoC	Material
1	Hheat	1	1	1	1000	0.01	0.01	0	0	50000	METHANE
2	mainfire	1	1	1	1000	0.01	0.01	0	0	50000	METHANE
3	3 panel workstation	1.5	1.5	1.5	6710	0.003053435	0.01181102	0	0	18900	WOODSHCM
4	bunkbed	1	1.3	1.5	4620	0.018667	0.129333	0	0	18900	URETHANE
5	bunsen	0.4	0.4	0.65	200	0.07	0	0	0	50000	METHANE
6	curtains	1	3	0.1	240	0.003289474	0	0	0	29600	ACOUTILE
7	kiosk	1	1	2	1750	0.01181102	0.003053435	0	0	50000	WOODSHCM

Buttons: Add Duplicate Remove

Fire Object Name: bunsen

Details
Material: Methane, a transparent gas (CH4)
Length: 0.4 m
Width: 0.4 m
Thickness: 0.65 m
Molar Mass: 0.016 kg/mol
Total Mass: 5 kg
Heat of Combustion: 50000 kJ/kg
Heat of Gasification: 0 kJ/kg
Volatilization Temperature: 26.85001 °C
Radiative Fraction: 0.33

Time (s)	Mdot (kg/s)	Qdot (kW)	Height (m)	Area (m²)	CO/CO2	C/CO2	H/C	O/C	HCN	HCl	Ct
0	0	0	0	0	0.05	0	0.16	0	0	0	1
60	0.002	100	0	0	0.06	0	0.16	0	0	0	1
120	0.003	150	0	0	0.07	0	0.16	0	0	0	1
180	0.004	200	0	0	0.06	0	0.16	0	0	0	1
240	0.003	150	0	0	0.05	0	0.16	0	0	0	1

Buttons: OK Cancel

L'objet incendié choisi est surligné dans la liste des différents feux qui se trouve en haut de l'écran. Le nom du feu est rappelé dans la case *Fire Object Name*.

Il est indiqué le combustible de ce feu dans la liste déroulante *Material*, les propriétés de celui-ci vont être utilisées pour calculer le transfert de chaleur de l'objet vers l'extérieur. La taille (*Length*), la largeur (*width*), l'épaisseur (*Thickness*), la masse molaire (*Molar Mass*), la masse totale (*Total Mass*), la chaleur de combustion (*Heat of Combustion*), la chaleur de gazéification (*Heat Of Gasification*), la température de volatilisation (*Volatilization Temperature*), la température d'allumage (*Ignition Temperature*) et la fraction radiative (*radiative Fraction*) de l'objet sont spécifiés.

Les dimensions de l'objet sont arbitraires, mais ont une incidence sur le flux de chaleur reçu par la surface de l'objet. La masse molaire (*Molar Mass*) est le facteur de conversion de la densité de masse en densité molaire d'hydrocarbure non brûlé total, la vapeur de combustible. Ceci est utilisé seulement pour la conversion en ppm et cela n'a pas d'effet sur le modèle lui-même. L'enthalpie de combustion (*Heat of Combustion*) est l'énergie libérée par kilogramme de masse brûlée.

L'enthalpie de gazéification (*Heat Of Gasefication*) est la chaleur latente requise pour vaporiser une unité de masse du matériau. La température de volatilisation (*Volatilization Temperature*) est la température de la vapeur qui est émise par la source combustible. Typiquement, la température initiale de combustion est la même que la température ambiante spécifiée dans la fenêtre « conditions ambiantes ». Ce qui n'est pas vrai si l'important transfert de chaleur de conduction et de radiation affecte le combustible. Ceci affecte l'enthalpie pour des températures inférieures à la couche basse ambiante qui cause alors le refroidissement du panache. Ce n'est pas un effet important mais il est notable.

La température d'allumage (*Ignition Temperature*) est la température limite basse au moment de l'inflammation du combustible dans la couche de gaz. Elle permet la naissance de foyers secondaires, enflammés par la couche de gaz. La fraction radiative (*radiative Fraction*) représente la fraction de l'énergie produite au cours de la combustion qui est émise sous forme de rayonnement thermique par le feu et le cône ou panache. Par défaut la valeur est de 0.30. Cela signifie que 30% de l'énergie du feu est dissipée sous forme de radiation.

Dans le tableau au bas de la fenêtre *Fire Objects* se trouvent les paramètres suivants :

- Le temps en secondes (time) des différents points de la progression de l'incendie.
- Le taux de pyrolyse (Mdot) en kg/s (Pyrolysis Rate)
- Le débit thermique (Qdot) en kW (Heat Release Rate)
- La hauteur du feu en mètre (Fire Height)
- La surface de la base du feu en m² (Area of the base of fire)
- Le rapport CO/CO₂ en kg/kg
- Le rapport C/CO₂ en kg/kg
- Le rapport H/C en kg/kg
- Le rapport O/C en kg/kg
- HCN en kg/kg est le poids d'acide cyanhydrique par masse de combustible produit lors de la pyrolyse.
- HCl en kg/kg est le poids d'acide chlorhydrique par masse de combustible produit lors de la pyrolyse
- Ct en kg/kg est le poids des espèces toxiques fictives par masse de combustible produit lors de la pyrolyse.

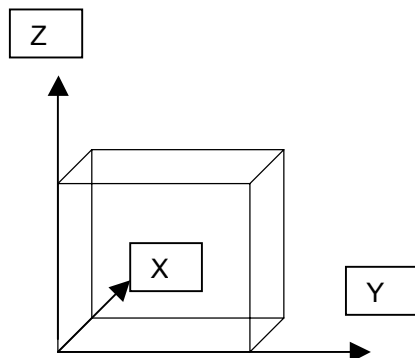
Lorsque toutes ces données sont renseignées, il faut spécifier le compartiment (Compartment) dans lequel se trouve le feu.

Fire 1		Compartment: <input type="text" value="Compartment 1"/>				
Type: <input type="text" value="Constrained"/>	Position, X: <input type="text" value="1.8 m"/>	Position Y: <input type="text" value="1.2 m"/>	Position Z: <input type="text" value="0 m"/>	Ignition Criterion: <input type="text" value="Time"/>		
Normal, X: <input type="text" value="0"/>	Normal, Y: <input type="text" value="0"/>	Normal, Z: <input type="text" value="1"/>	Plume: <input type="text" value="McCaffrey"/>	Ignition Value: <input type="text" value="0 s"/>		

Le type doit être spécifié :

- Feu contraint (*Constained*) : les espèces sont prises en compte et le débit thermique est limité par l'oxygène disponible pour la combustion
- Feu avec source de chaleur (Heat Source) : le feu est seulement une source de chaleur, aucune masse n'est libérée, et les fractions de volume des espèces ne sont pas calculées par le modèle.

La position du centre de la base du feu est toujours choisie par rapport à l'origine du compartiment qui est toujours située en bas à gauche comme l'indique le schéma ci-dessous.



Le feu est orienté grâce à un vecteur normal perpendiculaire à la surface exposée de l'objet. Les composantes de ce vecteur normal au feu peuvent être spécifiées. La valeur par défaut de ce vecteur est (0,0,1).

La direction de la composante normale selon x vient du fond du compartiment. La direction de la composante normale selon y vient du mur gauche du compartiment. La direction de la composante normale selon z vient du sol du compartiment.

Le cône ou panache (*plume*) peut être choisi. Ceci correspond à l'algorithme de calcul. Actuellement, l'unique choix possible est la formule de McCaffrey.

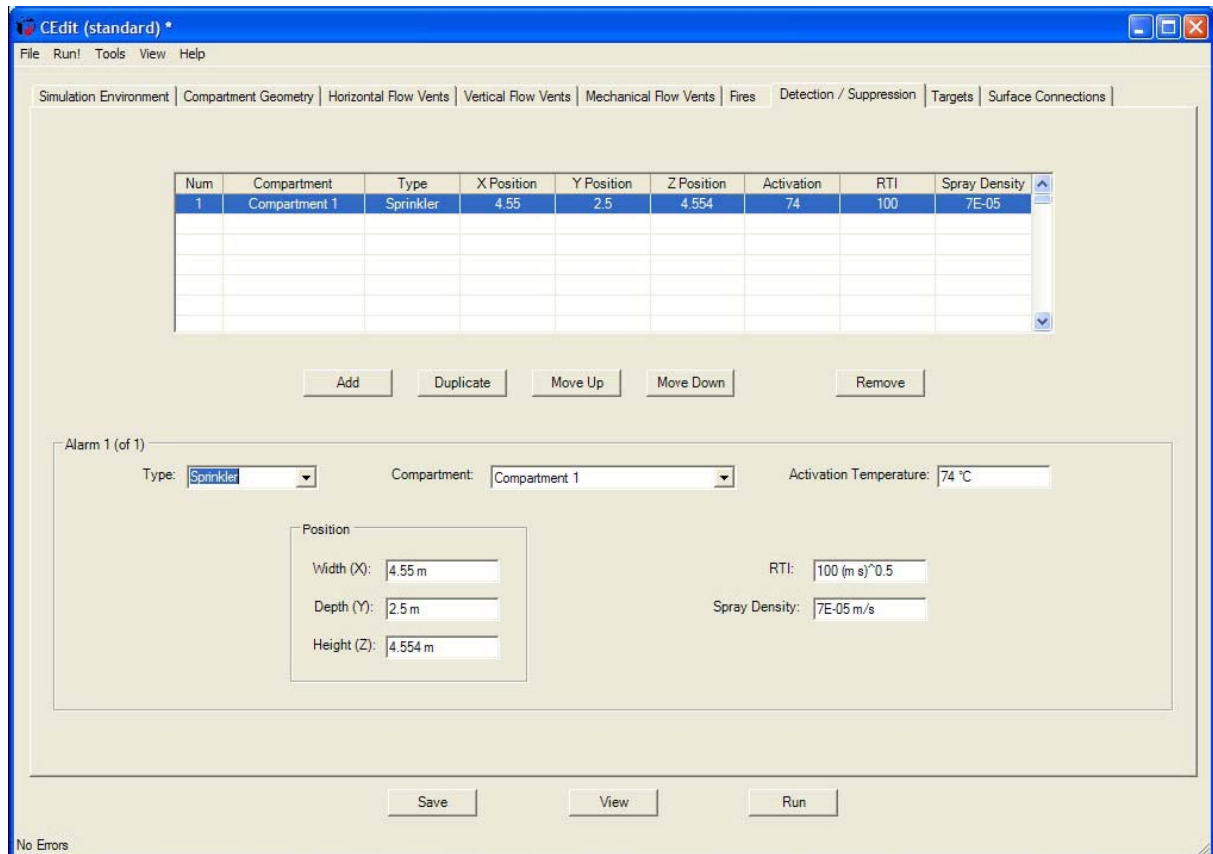
Le critère d'allumage (*Ignition Criterion Type*) peut être choisi en spécifiant soit un temps (*Time*), soit la température de surface de l'objet (*Temperature*), soit le flux thermique reçu par la surface de l'objet (*Heat Flux*) à partir duquel ou de laquelle l'allumage s'effectue. La valeur du paramètre spécifié ci-dessus (*Ignition Value*) est renseignée dans cette case. La valeur par défaut est 0 s pour le temps, 0 kW/m² pour le flux de chaleur et - 273,15 °C pour la température.

Tout en haut à droite, il est possible de choisir le Ceiling jet c'est à dire le jet de plafond. Typiquement, 2 zones sont créées par compartiments, une qui correspond à la couche haute (chaude) et une autre à la couche basse (froide). Un panache ou un cône du feu pompe l'énergie du feu et la transfère de la couche basse vers la couche haute. Cependant, il est observé qu'une perte importante de chaleur de la couche haute vers le plafond et les murs se produit, c'est pourquoi cette donnée doit être spécifiée dans *Ceiling Jet*. La perte de chaleur par le plafond est bien établie, la perte par les murs est plus incertaine, du fait de l'incertitude sur la façon dont le panache descend en-dessous du plafond.

g) La détection et les sprinklers (*Dectection/Surpression*)

Des sprinklers et des détecteurs peuvent être mis en place, dans la limite de 20 sprinklers ou détecteurs. Ils peuvent être mis en place dans un compartiment ou répartis dans tout le bâtiment. La détection est basée sur un transfert de chaleur vers le détecteur.

Pour créer un détecteur ou un sprinkler il faut cliquer sur « Add ».



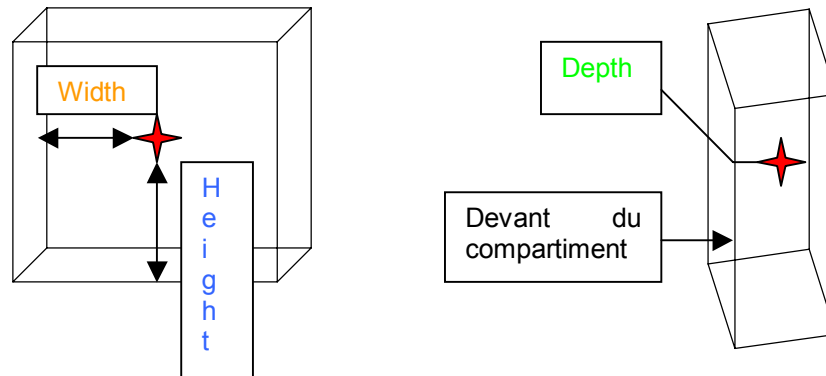
La liste déroulante *Type* permet de choisir le type de détecteur :

- Un détecteur de fumée (*Smoke Detector*)
- Un détecteur de chaleur (*Heat Detector*)
- Un sprinkler

Compartment permet de choisir le compartiment dans lequel sera placé le détecteur.

Dans la case *Activation Temperature*, il faut indiquer la température à laquelle la détection va se mettre en route.

La position du détecteur dans la pièce doit être également renseignée.



- *Width* est la distance entre le détecteur et le mur gauche du compartiment
- *Depth* est la distance entre le détecteur et le devant du compartiment
- *Height* est la distance entre le détecteur et le sol du compartiment

Le temps de réponse du détecteur (*RTI*) doit être indiquée, l'unité est en $(m.s)^{1/2}$

La densité du spray (*Spray Density*) en m/s c'est à dire la quantité d'eau dispersée par le sprinkler doit être renseignée.

Mises en garde pour l'utilisation de sprinklers :

Le premier sprinkler activé contrôle l'effet du sprinkler sur le débit calorifique du feu. Les sprinklers activés ultérieurement n'auront pas d'effet additionnel sur la simulation. L'algorithme des sprinklers suppose que l'effet du sprinkler est uniquement de réduire le débit calorifique du feu. Tous les effets des sprinklers sur la température des gaz traversés par le jet ou le mélange dans le compartiment sont ignorés. Le sprinkler réduit toujours le débit calorifique du feu. La capacité d'atteinte du feu par le sprinklage n'est pas simulée.

Puisque la dynamique du sprinkler et des effets directs du spray sur les températures et des vitesses de gaz ne sont pas modélisées, les périodes calculées de l'activation des sprinklers secondaires et/ou des détecteurs après que le premier sprinkler soit activé devraient ne pas être modélisés puisque l'impact du premier sprinkler sur l'activation des sprinklers additionnels n'est pas inclus dans le modèle CFAST. De ce fait, les délais indiqués sont à utiliser avec précaution.

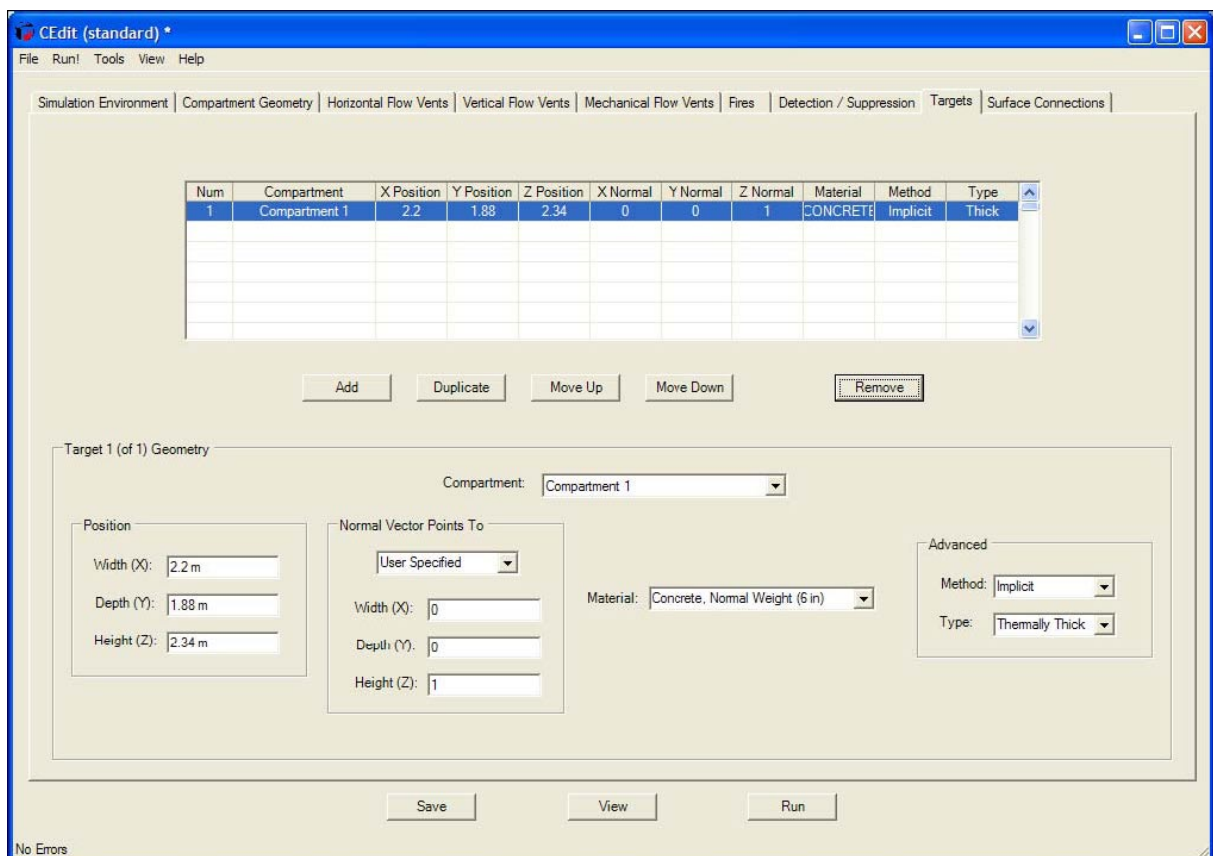
h) Cibles (Targets)

CFAST permet de choisir des cibles vers lesquelles va s'orienter la température (flux de chaleur). Il y a toujours 2 cibles qui sont positionnées automatiquement dans chaque compartiment qui contient le feu. La première est une cible ambiante « *ambient target* » qui permet de représenter le flux auquel serait exposé un corps humain. Elle est utilisée pour connaître la tenabilité par rapport au feu. Il est supposé que la cible restera à température ambiante, qui est un substitut au corps humain.

La seconde cible concerne le flux d'une cible horizontale sur la surface du plancher dont la température est supposée être la même que la surface du sol. Le calcul peut être employé pour estimer l'allumage des combustibles sur le plancher en tant que substitut pour l'estimation du temps du flashover, qui est typiquement atteint pour les flux thermiques de l'ordre de 20 kW/m^2

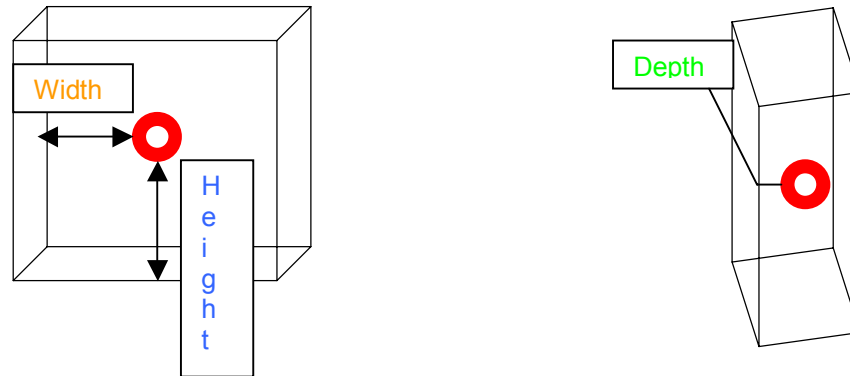
Pour toutes les cibles, le flux de chaleur est calculé sur la surface spécifiée par l'utilisateur (avec un vecteur normal). On considère que la conduction dans la cible se produit seulement à la surface.

Pour ajouter une nouvelle cible, il faut cliquer sur *Add*.



On doit choisir dans la liste déroulante le compartiment (*compartment*) dans lequel on veut placer la cible.

Indiquer la position de la cible dans le compartiment :

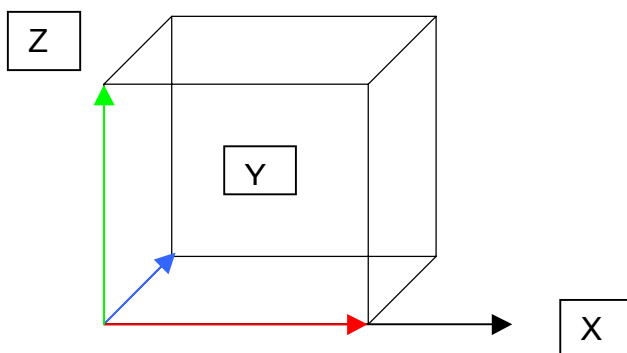


Les coordonnées X, Y et Z du vecteur normal (*Normal Vector Points To*) doivent être spécifiées. Il faut tout d'abord spécifier vers quelle surface est réalisée le calcul dans la liste déroulante « spécification de l'utilisateur » (*User Specified*).

Width (X) correspond à la composante en x du vecteur perpendiculaire à la cible, dont la direction provient du mur gauche. Une valeur de 1 pour cette composante donne le vecteur de coordonnées (1,0,0), celui ci est représenté en rouge ci-dessous.

Depth (Y) correspond à la composante en y du vecteur perpendiculaire à la cible, dont la direction provient du devant du compartiment. Une valeur de 1 pour cette composante donne le vecteur de coordonnées (0,1,0), celui ci est représenté en bleu ci-dessous.

Height (Z) correspond à la composante en z du vecteur perpendiculaire à la cible, dont la direction provient du plancher du compartiment. Une valeur de 1 pour cette composante donne le vecteur de coordonnées (0,0,1), celui ci est représenté en vert.



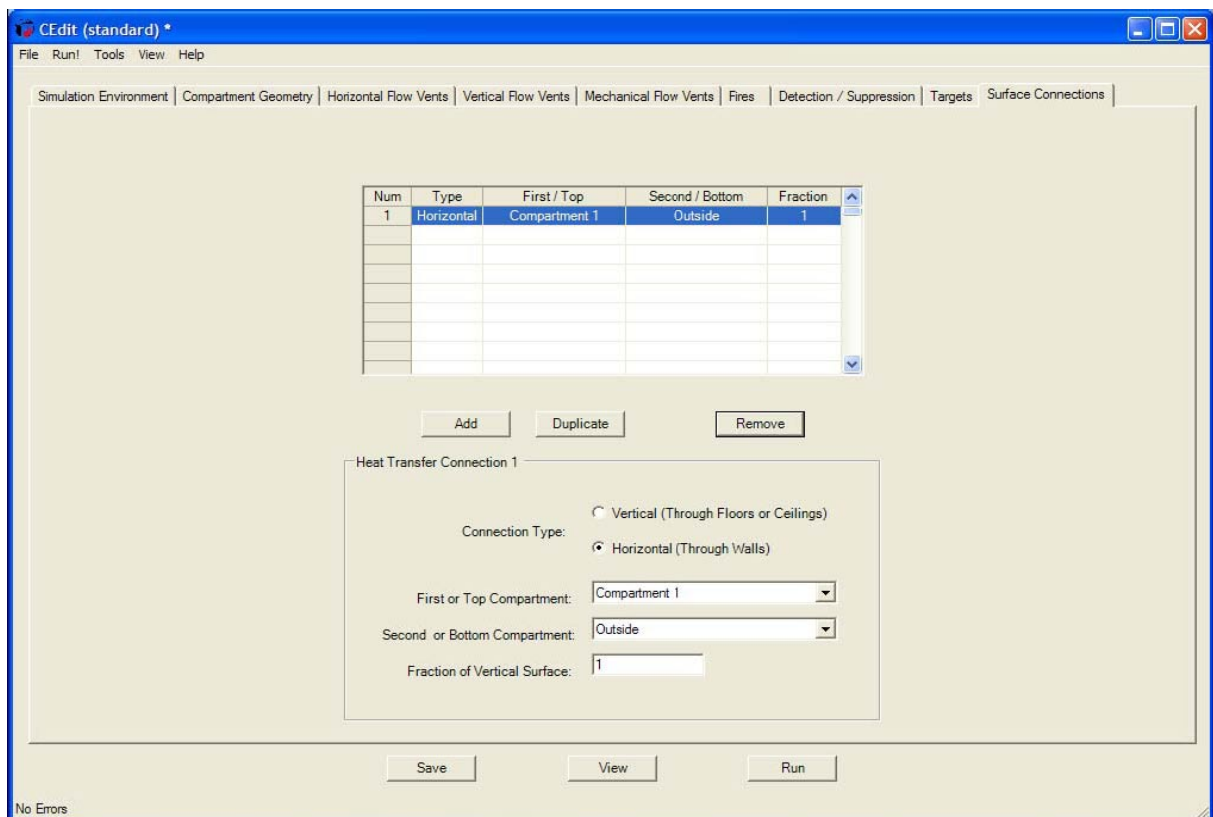
La liste déroulante *Material* permet de spécifier le matériau du mur de la cible. La liste déroulante *Solution Method* permet de spécifier la méthode de résolution :

- *Steady* recherche une solution de transfert thermique stabilisé, c'est à dire le matériau utilisé pour la cible réagit instantanément au changement de conditions et calcule la température de cible qui proviendrait d'un équilibre de la chaleur entrante et sortante (c-à-d, un état d'équilibre).
- *Explicit* recherche une solution explicite, par calcul maillé unidimensionnel.
- *Implicit* une solution implicite, par calcul maillé unidimensionnel.

La liste déroulante *type* permet de spécifier le type de transfert thermique, soit épais (thick), c'est à dire fonction de l'épaisseur, de la densité, la conductivité et la capacité thermique ou mince (thin), c'est à dire fonction de l'épaisseur, de la densité et de la capacité thermique, mais pour lequel l'échauffement est uniforme dans l'épaisseur.

i) Les connexions surface (*Surface Connections*)

Les connexions entre surfaces (*Surface Connections*) permettent à l'utilisateur de définir un transfert de chaleur entre compartiments dans la simulation. Il est possible de définir une conduction verticale par les sols ou plafonds ou horizontale par les murs.



Afin d'ajouter une connexion il faut cliquer sur *Add*. Le type de connexions (Connection Type) doit être choisi *Vertical* pour le transfert par les sols et les plafonds ou *Horizontal* pour un transfert par les murs.

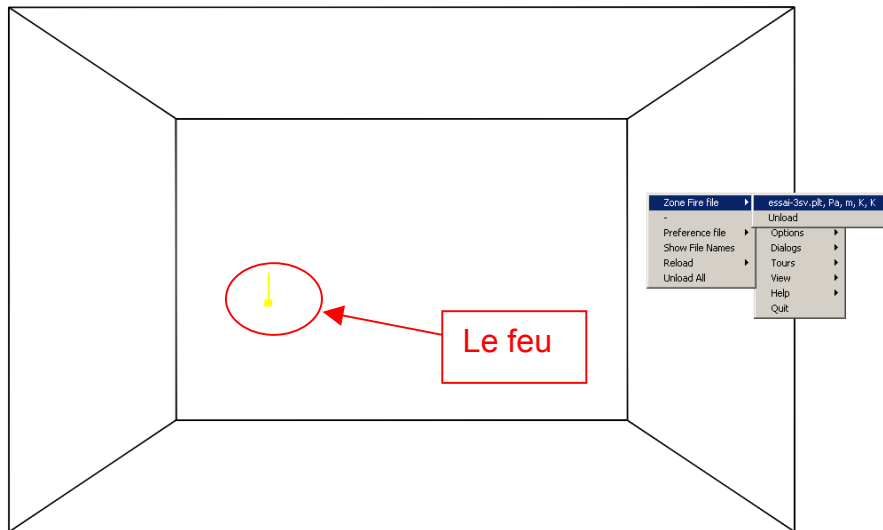
First or Top compartment permet de renseigner le compartiment : le 1^{er} compartiment ou celui du dessus. *Second or Bottom Compartment* permet de renseigner le compartiment : le 2nd compartiment ou celui inférieur. La fraction de la surface verticale (*Fraction of Vertical Surface*) permet de renseigner la fraction de la surface verticale qui relie les 2 compartiments.

3. Comment réaliser une simulation ?

- Exécuter CEdit
- Cliquer sur *New* de l'onglet *File*
- Sauvegarder la simulation en cliquant sur *save as* de l'onglet *File* en lui assignant un nom.
- Renseigner les éléments de notre étude dans les différentes fenêtres décrites au III.
- Lorsque toutes les fenêtres sont renseignées, il faut se remettre sur la première fenêtre *Simulation Environment* et cliquer sur *save*.

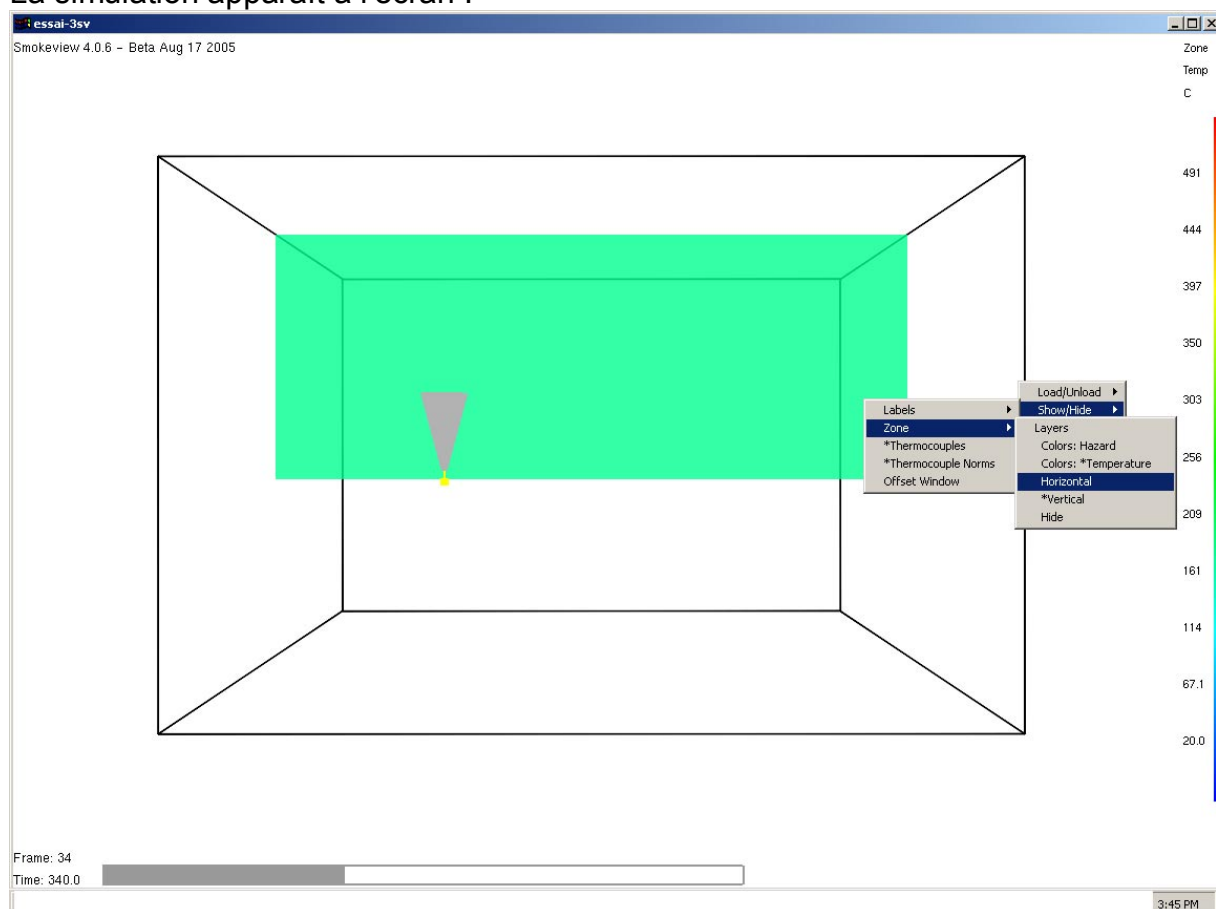
Il est alors possible de lancer le calcul de la géométrie de l'immeuble ou la simulation de feu et enfin de visualiser un des deux calculs (voir chapitre II).

4. Paramètres de la visualisation de la simulation (Simulation Visualization, Smokeview)

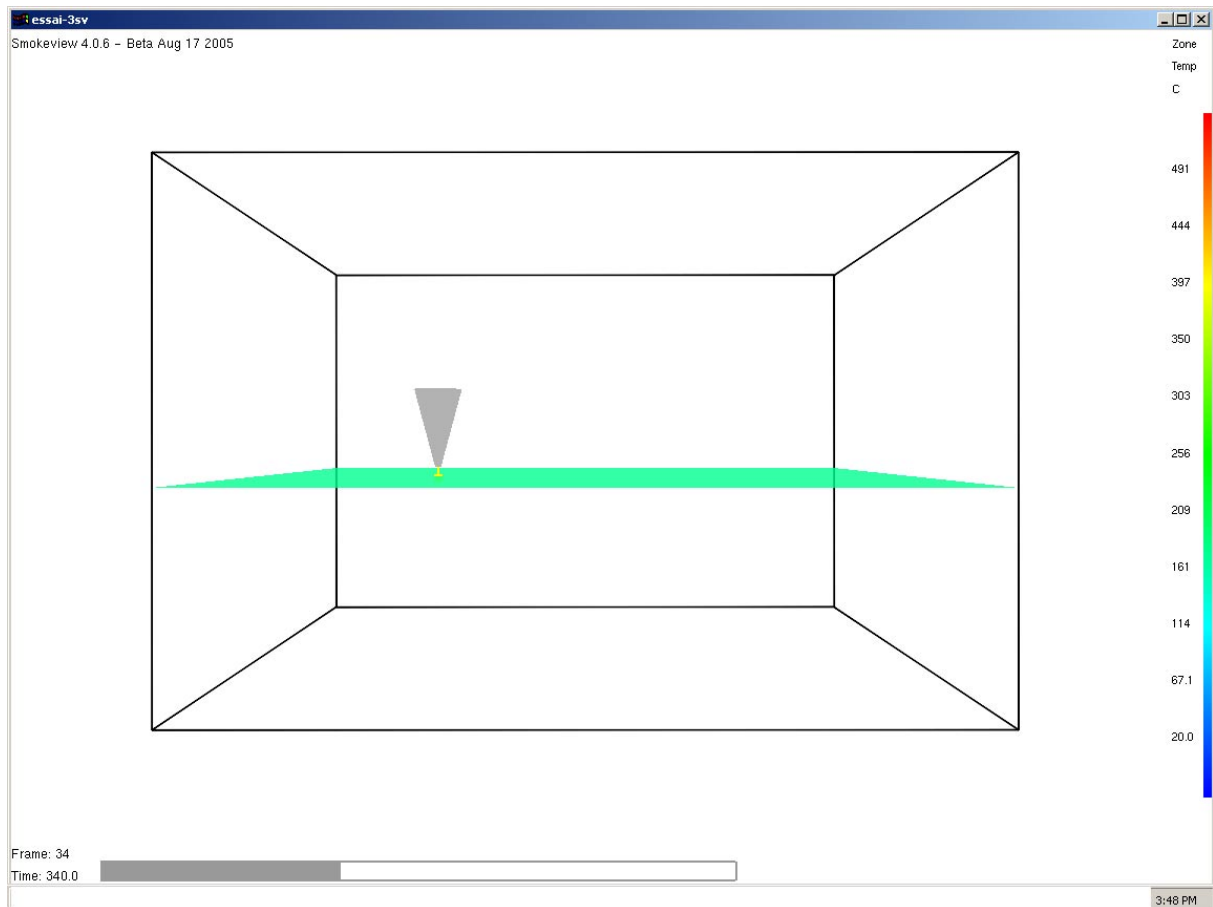


Afin de visualiser la simulation, il faut, après avoir « cliquer droit » sur la souris, cliquer sur *Zone Fire File* et sur le nom de la simulation qui se trouve juste au-dessus de *Unload*.

La simulation apparaît à l'écran :



Pour une meilleure visualisation il est préférable de faire figurer les couches de fumées horizontalement. Pour ce faire il faut cliquer droit sur la souris, puis sur *Show/Hide* et ensuite sur *Zone*, puis enfin sur *Horizontal*.



Pour arrêter le défilement de la simulation il faut cliquer sur la barre grise tout en bas de la simulation. Il est possible de voir la simulation à différents instants en se déplaçant sur cette barre.

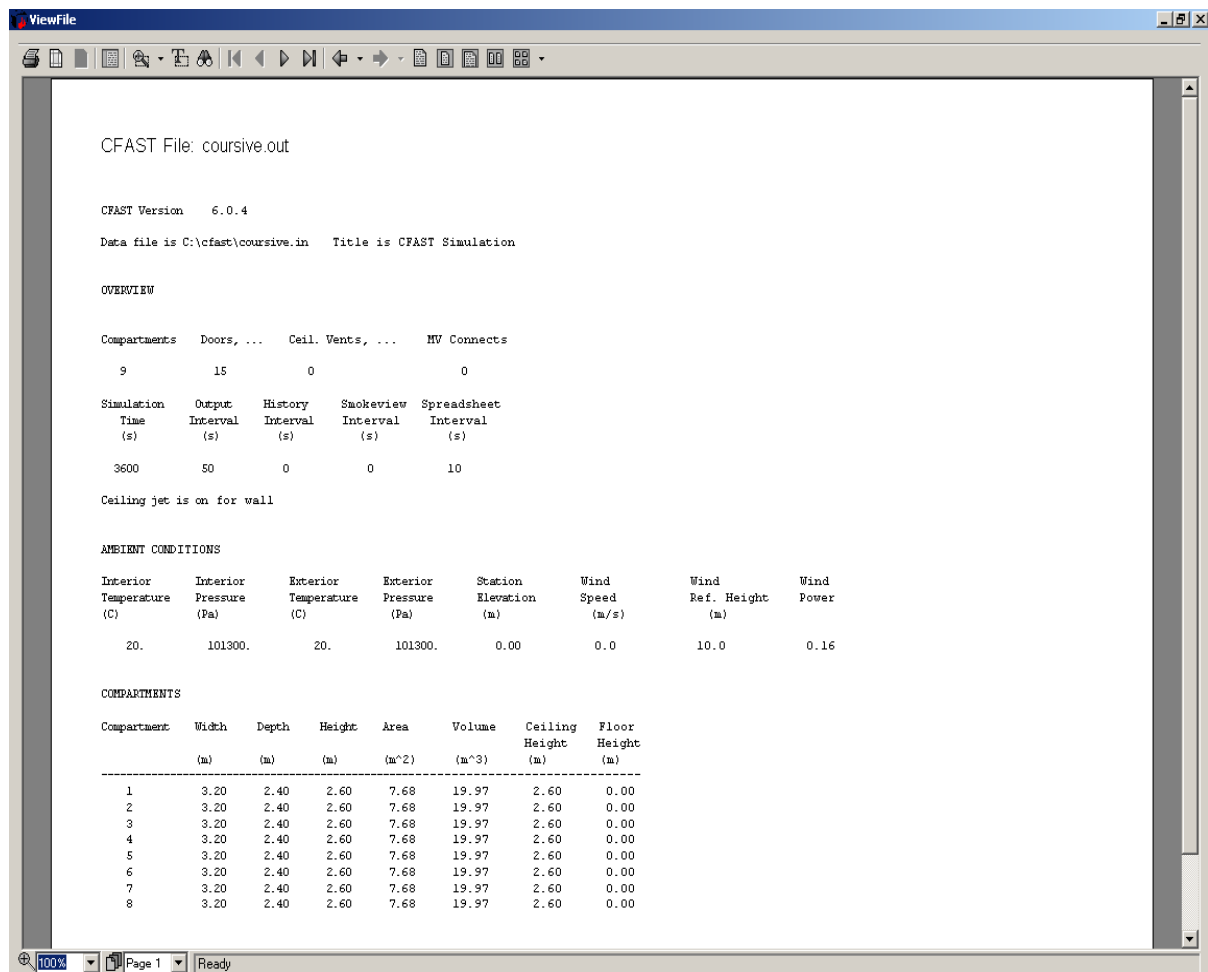
A droite de l'écran se trouve une échelle de température, il est possible de choisir une température sur cette échelle par exemple 90°C lors du déroulement de la simulation, les fumées se colorent en noir lorsque leur température est de 90°C. En cliquant gauche sur la figure géométrique et en gardant le doigt dessus il est possible de faire tourner la figure.

5. Les fichiers de sortie générés

Les différents fichiers générés par CFAST sont :

- Le fichier *.in* qui est le fichier créé lorsqu'on enregistre la simulation.
- Le fichier *.out* : le fichier texte de sortie.
- Le fichier *.n.csv* : le fichier qui donne des données générales.
- Le fichier *.s.csv* : le fichier qui donne des renseignements sur les différentes espèces.
- Le fichier *.f.csv* : le fichier sur les flux.
- Le fichier *.w.csv* le fichier qui donne des renseignements sur la température de surface des murs, les cibles et les sprinklers.
- Le fichier *.smv* : le fichier de simulation visuel.
- Le fichier *.plt* : le fichier graphique de la simulation.
- Le fichier *.hi* : le fichier de données binaires

Dans le fichier *.out*, qui peut être visionné en cliquant sur *view CFAST Output File*, tous les éléments de déroulement de la simulation apparaissent :



```

ViewFile
-----
CFAST File: coursive.out

CFAST Version: 6.0.4
Data file is C:\cfast\coursive.in Title is CFAST Simulation

OVERVIEW

Compartments  Doors, ...  Ceil. Vents, ...  MV Connects
-----
9             15             0                 0

Simulation  Output  History  Smokeview  Spreadsheet
Time        Interval  Interval  Interval  Interval
(s)         (s)      (s)       (s)       (s)

3600        50       0         0         10

Ceiling jet is on for wall

AMBIENT CONDITIONS

Interior  Interior  Exterior  Exterior  Station  Wind      Wind      Wind
Temperature  Pressure  Temperature  Pressure  Elevation  Speed  Ref. Height  Power
(C)         (Pa)     (C)        (Pa)     (m)       (m/s)   (m)         (W)

20.        101300.  20.        101300.  0.00     0.0     10.0        0.16

COMPARTMENTS

Compartment  Width  Depth  Height  Area  Volume  Ceiling  Floor
              (m)    (m)    (m)     (m^2) (m^3)   Height  Height
              (m)    (m)    (m)     (m^2) (m^3)   (m)     (m)

-----
1            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
2            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
3            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
4            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
5            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
6            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
7            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
8            3.20  2.40  2.60   7.68  19.97  2.60  0.00
    
```

Les fichiers Excel générés

Le logiciel génère 4 fichiers Excel qui permettent l'exploitation des données.

(1) Le fichier .n.csv

Le fichier .n.csv donne les informations suivantes :

	C	D	E	F	G	H	AK	AL	AM	AN	AO
1	piece	piece	piece	piece	piece	piece	3 panel workstat	3 panel workstat	3 panel workstat	3 panel workstat	3 panel workstat
2	Lower Layer Temp	Layer Height	Volume	Pressure	Ambient Target	Floor Target	piece	piece	piece	piece	piece
4	Température de la couche de fumée inférieure (°C)	hauteur de la couche de fumée (m)	Volume (m3)	Pression Pa	Cible Ambiante (W/m2)	Cible du sol (W/m2)	flux du cône (kg/s)	Taux de pyrolyse (kg/s)	Puissance du feu (W)	Hauteur des flammes (m)	Flux convectif (W)
5	1.99E+01	2.00E+00	5.20E-02	0.00E+00	1.71E-13	1.71E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
6	2.00E+01	1.96E+00	9.95E+00	1.63E+02	7.16E+00	5.98E+00	1.16E+00	3.50E-03	6.61E+04	1.51E+00	1.17E+05
7	2.07E+01	4.17E+02	2.07E+01	4.17E+02	1.30E+01	9.95E+00	1.20E+00	4.85E-03	9.17E+04	1.58E+00	1.27E+05
8	3.20E+01	7.60E+02	2.00E+01	7.60E+02	2.00E+01	1.46E+01	1.22E+00	6.21E-03	1.17E+05	1.51E+00	1.17E+05
9	4.35E+01	1.18E+03	2.95E+01	1.18E+03	2.95E+01	2.11E+01	1.23E+00	7.56E-03	1.43E+05	1.51E+00	1.17E+05
10	5.52E+01	1.68E+03	3.94E+01	1.68E+03	3.94E+01	2.74E+01	1.22E+00	8.82E-03	1.67E+05	1.51E+00	1.17E+05
11	6.66E+01	2.21E+03	4.91E+01	2.21E+03	4.91E+01	3.34E+01	1.17E+00	9.20E-03	1.74E+05	1.54E+00	1.22E+05
12	7.76E+01	2.73E+03	5.87E+01	2.73E+03	5.87E+01	3.93E+01	1.13E+00	9.59E-03	1.81E+05	1.58E+00	1.27E+05
13	2.26E+01	1.66E+00	8.81E+01	3.24E+03	6.82E+01	4.52E+01	1.09E+00	9.97E-03	1.89E+05	1.61E+00	1.32E+05
14	2.30E+01	1.62E+00	9.83E+01	3.77E+03	7.78E+01	5.12E+01	1.05E+00	1.04E-02	1.96E+05	1.64E+00	1.37E+05
15	2.34E+01	1.58E+00	1.08E+02	4.30E+03	8.76E+01	5.74E+01	1.01E+00	1.08E-02	2.04E+05	1.67E+00	1.43E+05
16	2.39E+01	1.55E+00	1.18E+02	4.84E+03	9.80E+01	6.39E+01	9.83E-01	1.14E-02	2.15E+05	1.71E+00	1.51E+05
17	2.43E+01	1.51E+00	1.27E+02	5.42E+03	1.09E+02	7.09E+01	9.56E-01	1.19E-02	2.26E+05	1.75E+00	1.58E+05
18	2.48E+01	1.48E+00	1.36E+02	6.01E+03	1.20E+02	7.82E+01	9.65E-01	1.25E-02	2.37E+05	1.79E+00	1.66E+05
19	2.53E+01	1.44E+00	1.45E+02	6.62E+03	1.32E+02	8.58E+01	9.71E-01	1.31E-02	2.48E+05	1.83E+00	1.74E+05
20	2.50E+01	1.41E+00	1.54E+02	7.26E+03	1.45E+02	9.37E+01	9.76E-01	1.37E-02	2.59E+05	1.07E+00	1.02E+05
21	2.64E+01	1.37E+00	1.64E+02	7.91E+03	1.58E+02	1.02E+02	9.80E-01	1.43E-02	2.71E+05	1.90E+00	1.89E+05
22	2.69E+01	1.34E+00	1.72E+02	8.54E+03	1.70E+02	1.09E+02	9.26E-01	1.36E-02	2.57E+05	1.06E+00	1.00E+05
23	2.72E+01	1.31E+00	1.80E+02	9.01E+03	1.79E+02	1.14E+02	8.51E-01	1.23E-02	2.32E+05	1.77E+00	1.63E+05
24	2.75E+01	1.28E+00	1.87E+02	9.34E+03	1.85E+02	1.17E+02	7.78E-01	1.10E-02	2.08E+05	1.68E+00	1.46E+05
25	2.77E+01	1.26E+00	1.94E+02	9.55E+03	1.88E+02	1.19E+02	7.07E-01	9.72E-03	1.84E+05	1.59E+00	1.29E+05
26	2.77E+01	1.23E+00	1.99E+02	9.64E+03	1.89E+02	1.18E+02	6.36E-01	8.43E-03	1.59E+05	1.48E+00	1.12E+05
27	2.77E+01	1.22E+00	2.04E+02	9.62E+03	1.87E+02	1.17E+02	5.65E-01	7.14E-03	1.35E+05	1.37E+00	9.45E+04
28	2.77E+01	1.20E+00	2.08E+02	9.52E+03	1.84E+02	1.15E+02	5.27E+01	6.29E+03	1.19E+05	1.28E+00	8.31E+04
29	2.76E+01	1.19E+00	2.11E+02	9.43E+03	1.82E+02	1.13E+02	5.18E-01	6.44E-03	1.22E+05	1.30E+00	8.51E+04
30	2.76E+01	1.17E+00	2.15E+02	9.39E+03	1.81E+02	1.12E+02	5.18E-01	6.59E-03	1.24E+05	1.31E+00	8.71E+04
31	2.76E+01	1.16E+00	2.19E+02	9.39E+03	1.81E+02	1.12E+02	5.19E-01	6.74E-03	1.27E+05	1.33E+00	8.90E+04
32	2.76E+01	1.14E+00	2.23E+02	9.43E+03	1.81E+02	1.12E+02	5.20E-01	6.89E-03	1.30E+05	1.34E+00	9.10E+04
33	2.77E+01	1.12E+00	2.28E+02	9.49E+03	1.82E+02	1.12E+02	5.20E-01	7.04E-03	1.33E+05	1.36E+00	9.30E+04

Compartiment avec les données le concernant

Feu avec ses caractéristiques

Dans ce tableau, nous avons tout d'abord le temps, ensuite les différentes pièces. Pour chaque pièce, les colonnes sont la température de la couche de fumée supérieure, inférieure, la hauteur d'interface. Ensuite, les données extraites concernent le ou les feu(x) avec certaines données le(s) concernant : la 1^{ère} ligne le type de feu, la seconde la localisation du feu et enfin la 3^{ème} différentes caractéristiques comme la hauteur des flammes.

(2) Le fichier .s.csv

Dans ce fichier se trouvent les teneurs en certains gaz pour la couche supérieure de fumée et la couche inférieure de fumée, ainsi que la visibilité dans la fumée et ce pour tous les compartiments créés.

CD6	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	CD
1	SPECIES	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	piece	
2	Time	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	
3	Temps	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	couche supérieure	couche inférieure	
4		O2	CO2	CO2	CO	CO	HCN	HCN	HCL	HCL	H2O	H2O	OD	OD	CT	CT		
5		% d'oxygène	% d'oxygène	% de dioxyde de carbone	% de dioxyde de carbone	ppm de monoxyde de carbone	ppm de monoxyde de carbone	ppm d'acide cyanhydrique	ppm d'acide cyanhydrique	ppm acide chlorhydrique	ppm acide chlorhydrique	% d'eau	% d'eau	visibilité (1.1m)	visibilité (1.1m)	concentration en temps (g*min/m3)	concentration en temps (g*min/m3)	
6		0.00	20.48	20.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	
7		10.00	20.11	20.48	0.28	0.00	13.39	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42	1.15	0.22	0.00	0.42	0.00	
8		20.00	20.03	20.48	0.34	0.00	16.15	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	1.15	0.26	0.00	0.93	0.00	
9		30.00	19.96	20.48	0.40	0.00	18.96	0.00	0.00	0.00	0.00	1.53	1.15	0.30	0.00	1.54	0.00	
10		40.00	19.88	20.48	0.45	0.00	21.83	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	1.15	0.34	0.00	2.23	0.00	
11		50.00	19.80	20.48	0.52	0.00	24.74	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65	1.15	0.39	0.00	3.01	0.00	
12		60.00	19.72	20.48	0.57	0.00	27.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	1.15	0.42	0.00	3.89	0.00	
13		70.00	19.66	20.48	0.62	0.00	29.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	1.15	0.46	0.00	4.84	0.00	
14		80.00	19.60	20.48	0.66	0.00	31.79	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	1.15	0.49	0.00	5.86	0.00	

(3) Le fichier .f.csv

Dans ce fichier se trouvent les flux à travers les ouvertures tels que les fenêtres et les portes (connexion horizontale), les exutoires (connexion verticale) et ventilation mécanique. Ces flux sont gouvernés par une différence de pression de part et d'autre de l'ouverture.

Lorsqu'il y a un V devant soit Outflow ou Inflow, cela signifie que l'on parle des connexions verticales. Un MV devant soit Outflow ou Inflow signifie que l'on parle de ventilations mécaniques.

H217	A	B	C	D	E	H	I	T	U
1	FLOW								
2	Débit (kg/s)	Connection horizontale				Connection verticale		ventilation mécanique	
3	Time	Inflow from 2 to 1	Outflow to 2 from 1	Mixing to Upper 1 (2)	Mixing to Lower 1 (2)	V Outflow from 1 to Out	V Inflow from 1 to Out	MV Inflow to 2	MV Outflow from 2
4	Temps	Débit entrant de 2 vers 1	Débit sortant de 2 vers 1	"mélange" des fumés au niveau de l'ouverture de couche sup du 1 vers le 2	"mélange" des fumés au niveau de l'ouverture de couche sup du 1 vers le 2	Débit sortant de 1 vers l'extérieur	Débit entrant de 1 vers l'extérieur	Débit entrant du compartiment N° 2	Débit sortant du compartiment N° 2
205	2000	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.71E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
206	2010	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.72E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
207	2020	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.72E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
208	2030	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.73E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
209	2040	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.73E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
210	2050	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.74E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
211	2060	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.74E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03
212	2070	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.75E-02	0.00E+00	1.01E+00	0.00E+00	4.79E-03

(4) Le fichier .w.csv

Dans cette feuille Excel se trouve la surface, la température cible et le flux.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	BM	BN	BO	BP	BQ	BR
1	WALL	coursive12	coursive12	coursive12	coursive12	coursive12	coursive12	coursive12	coursive12	coursive12	Target 1	Target 1	Target 1	Target 1	Target 1	Target 1
2	Time	ceiling	upper wall	lower wall	floor	flux to target	total fire rad.	surface rad.	gas rad.	convective flux	coursive5	total flux	fire flux	surface flux	gas flux	convectiv
3																
4	0.00E+00	2.00E+01	2.00E+01	2.00E+01	2.00E+01	4.19E+02	0.00E+00	4.11E+02	7.68E+00	0.00E+00	2.00E+01	4.19E+02	0.00E+00	4.10E+02	8.48E+00	0.00E
5	1.00E+01	2.01E+01	2.01E+01	2.00E+01	2.00E+01	4.19E+02	0.00E+00	4.11E+02	8.30E+00	-2.64E-03	2.02E+01	5.77E+02	0.00E+00	5.21E+02	5.59E+01	1.54E
6	2.00E+01	2.04E+01	2.03E+01	2.00E+01	2.00E+01	4.22E+02	0.00E+00	4.02E+02	1.99E+01	-6.31E-02	2.05E+01	6.66E+02	0.00E+00	5.94E+02	7.17E+01	3.26E
7	3.00E+01	2.10E+01	2.08E+01	2.01E+01	2.01E+01	4.29E+02	0.00E+00	3.86E+02	4.33E+01	-2.73E-01	2.09E+01	7.64E+02	0.00E+00	6.77E+02	8.66E+01	4.29E
8	4.00E+01	2.16E+01	2.14E+01	2.02E+01	2.02E+01	4.38E+02	0.00E+00	3.73E+02	6.58E+01	-6.06E-01	2.15E+01	8.72E+02	0.00E+00	7.65E+02	1.06E+02	3.69E
9	5.00E+01	2.24E+01	2.20E+01	2.03E+01	2.04E+01	4.46E+02	0.00E+00	3.67E+02	8.02E+01	-9.73E-01	2.22E+01	9.87E+02	0.00E+00	8.52E+02	1.35E+02	1.82E
10	6.00E+01	2.32E+01	2.28E+01	2.04E+01	2.06E+01	4.55E+02	0.00E+00	3.65E+02	9.16E+01	-1.30E+00	2.32E+01	1.07E+03	0.00E+00	9.05E+02	1.61E+02	-2.17E
11	7.00E+01	2.42E+01	2.37E+01	2.05E+01	2.08E+01	4.65E+02	0.00E+00	3.66E+02	1.01E+02	-1.54E+00	2.42E+01	1.13E+03	0.00E+00	9.53E+02	1.82E+02	-8.87E
12	8.00E+01	2.53E+01	2.46E+01	2.07E+01	2.10E+01	4.76E+02	0.00E+00	3.68E+02	1.09E+02	-1.71E+00	2.53E+01	1.20E+03	0.00E+00	9.99E+02	2.01E+02	-1.85E
13	9.00E+01	2.65E+01	2.56E+01	2.09E+01	2.13E+01	4.86E+02	0.00E+00	3.70E+02	1.17E+02	-1.83E+00	2.65E+01	1.26E+03	0.00E+00	1.04E+03	2.17E+02	-3.13E
14	1.00E+02	2.77E+01	2.67E+01	2.11E+01	2.16E+01	4.95E+02	0.00E+00	3.73E+02	1.24E+02	-1.93E+00	2.78E+01	1.32E+03	0.00E+00	1.09E+03	2.32E+02	-4.73E
15	1.10E+02	2.88E+01	2.77E+01	2.13E+01	2.19E+01	5.05E+02	0.00E+00	3.75E+02	1.31E+02	-2.01E+00	2.93E+01	1.38E+03	0.00E+00	1.14E+03	2.48E+02	-6.65E
16	1.20E+02	3.00E+01	2.87E+01	2.15E+01	2.22E+01	5.13E+02	0.00E+00	3.78E+02	1.38E+02	-2.08E+00	3.08E+01	1.45E+03	0.00E+00	1.19E+03	2.64E+02	-8.88E
17	1.30E+02	3.11E+01	2.97E+01	2.17E+01	2.26E+01	5.23E+02	0.00E+00	3.80E+02	1.45E+02	-2.10E+00	3.24E+01	1.51E+03	0.00E+00	1.24E+03	2.81E+02	-1.15E
18	1.40E+02	3.22E+01	3.07E+01	2.20E+01	2.29E+01	5.32E+02	0.00E+00	3.81E+02	1.52E+02	-2.05E+00	3.41E+01	1.57E+03	0.00E+00	1.28E+03	3.00E+02	-1.45E
19	1.50E+02	3.33E+01	3.17E+01	2.22E+01	2.32E+01	5.40E+02	0.00E+00	3.83E+02	1.60E+02	-1.89E+00	3.59E+01	1.62E+03	0.00E+00	1.32E+03	3.20E+02	-1.90E
20	1.60E+02	3.43E+01	3.26E+01	2.24E+01	2.36E+01	5.49E+02	0.00E+00	3.84E+02	1.67E+02	-1.58E+00	3.78E+01	1.68E+03	0.00E+00	1.36E+03	3.42E+02	-2.43E
21	1.70E+02	3.53E+01	3.35E+01	2.27E+01	2.40E+01	5.58E+02	0.00E+00	3.84E+02	1.74E+02	-1.10E+00	3.98E+01	1.67E+03	0.00E+00	1.34E+03	3.56E+02	-3.03E
22	1.80E+02	3.62E+01	3.43E+01	2.29E+01	2.43E+01	5.63E+02	0.00E+00	3.86E+02	1.77E+02	-6.26E-01	4.17E+01	1.61E+03	0.00E+00	1.29E+03	3.55E+02	-3.67E
23	1.90E+02	3.69E+01	3.49E+01	2.31E+01	2.46E+01	5.63E+02	0.00E+00	3.87E+02	1.76E+02	-4.61E-01	4.35E+01	1.54E+03	0.00E+00	1.24E+03	3.46E+02	-4.32E
24	2.00E+02	3.73E+01	3.53E+01	2.33E+01	2.49E+01	5.60E+02	0.00E+00	3.88E+02	1.73E+02	-6.33E-01	4.52E+01	1.46E+03	0.00E+00	1.18E+03	3.32E+02	-5.00E
25	2.10E+02	3.76E+01	3.56E+01	2.34E+01	2.51E+01	5.56E+02	0.00E+00	3.88E+02	1.68E+02	-1.07E+00	4.68E+01	1.38E+03	0.00E+00	1.12E+03	3.14E+02	-5.72E
26	2.20E+02	3.77E+01	3.57E+01	2.35E+01	2.52E+01	5.49E+02	0.00E+00	3.89E+02	1.63E+02	-1.70E+00	4.82E+01	1.29E+03	0.00E+00	1.06E+03	2.93E+02	-6.48E
27	2.30E+02	3.77E+01	3.57E+01	2.36E+01	2.53E+01	5.42E+02	0.00E+00	3.89E+02	1.56E+02	-2.48E+00	4.95E+01	1.21E+03	0.00E+00	1.01E+03	2.72E+02	-7.27E
28	2.40E+02	3.76E+01	3.57E+01	2.36E+01	2.53E+01	5.36E+02	0.00E+00	3.88E+02	1.51E+02	-3.28E+00	5.07E+01	1.19E+03	0.00E+00	1.00E+03	2.63E+02	-8.07E
29	2.50E+02	3.74E+01	3.56E+01	2.36E+01	2.53E+01	5.31E+02	0.00E+00	3.87E+02	1.48E+02	-3.91E+00	5.19E+01	1.17E+03	0.00E+00	1.00E+03	2.60E+02	-8.87E
30	2.60E+02	3.73E+01	3.55E+01	2.37E+01	2.54E+01	5.28E+02	0.00E+00	3.85E+02	1.47E+02	-4.30E+00	5.30E+01	1.16E+03	0.00E+00	9.96E+02	2.60E+02	-9.69E
31	2.70E+02	3.72E+01	3.54E+01	2.37E+01	2.54E+01	5.27E+02	0.00E+00	3.84E+02	1.48E+02	-4.49E+00	5.41E+01	1.15E+03	0.00E+00	9.94E+02	2.63E+02	-1.05E
32	2.80E+02	3.72E+01	3.54E+01	2.37E+01	2.55E+01	5.27E+02	0.00E+00	3.83E+02	1.48E+02	-4.54E+00	5.52E+01	1.15E+03	0.00E+00	9.91E+02	2.67E+02	-1.12E
33	2.90E+02	3.72E+01	3.54E+01	2.38E+01	2.55E+01	5.27E+02	0.00E+00	3.82E+02	1.50E+02	-4.52E+00	5.63E+01	1.14E+03	0.00E+00	9.89E+02	2.72E+02	-1.20E
34	3.00E+02	3.73E+01	3.55E+01	2.39E+01	2.56E+01	5.30E+02	0.00E+00	3.80E+02	1.54E+02	-4.39E+00	5.75E+01	1.33E+03	0.00E+00	1.14E+03	3.17E+02	-1.26E
35	3.10E+02	3.76E+01	3.58E+01	2.40E+01	2.58E+01	5.43E+02	0.00E+00	3.75E+02	1.71E+02	-3.38E+00	5.91E+01	1.62E+03	0.00E+00	1.33E+03	4.17E+02	-1.32E
36	3.20E+02	3.84E+01	3.65E+01	2.42E+01	2.62E+01	5.72E+02	0.00E+00	3.72E+02	2.00E+02	-3.28E-01	6.12E+01	1.99E+03	0.00E+00	1.57E+03	5.57E+02	-1.35E
37	3.30E+02	4.00E+01	3.79E+01	2.47E+01	2.68E+01	6.15E+02	0.00E+00	3.75E+02	2.35E+02	4.62E+00	6.40E+01	2.46E+03	0.00E+00	1.86E+03	7.38E+02	-1.34E
38	3.40E+02	4.22E+01	3.99E+01	2.53E+01	2.78E+01	6.69E+02	0.00E+00	3.84E+02	2.75E+02	1.00E+01	6.76E+01	3.04E+03	0.00E+00	2.20E+03	9.63E+02	-1.26E
39	3.50E+02	4.52E+01	4.26E+01	2.62E+01	2.90E+01	7.34E+02	0.00E+00	3.99E+02	3.19E+02	1.53E+01	7.23E+01	3.73E+03	0.00E+00	2.62E+03	1.24E+03	-1.21E
40	3.60E+02	4.89E+01	4.60E+01	2.72E+01	3.06E+01	8.05E+02	0.00E+00	4.18E+02	3.67E+02	1.96E+01	7.83E+01	4.46E+03	0.00E+00	3.05E+03	1.53E+03	-1.24E
41	3.70E+02	5.30E+01	4.97E+01	2.84E+01	3.23E+01	8.68E+02	0.00E+00	4.40E+02	4.09E+02	2.02E+01	8.53E+01	5.12E+03	0.00E+00	3.50E+03	1.75E+03	-1.36E

IV. Limites et sensibilité du modèle

A. Les limites

Avant toute utilisation ou validation d'un outil de simulation numérique, il convient d'en connaître les limitations physiques ou numériques.

Les limitations physiques sont des conditions pour lesquelles la validité de certaines formules change, les résultats sont tronqués ou un changement de formule est opéré. Les conditions de ces limitations sont inscrites au sein du code de calcul, ou sont spécifiées par l'utilisateur. Dans les modèles de combustion, un exemple classique est la teneur limite en oxygène permettant la combustion.

Dans le logiciel CFAST, la combustion est possible dans des conditions spécifiées d'alimentation en oxygène. Si celle-ci passe au-dessous de 10 % (valeur par défaut), la combustion s'arrête. Cette valeur peut être spécifiée par l'utilisateur. La relation déterminant la quantité de combustible pouvant être brûlée est définie par :

$$\dot{m}_{\text{Combustible}} = \dot{m}_{\text{Oxygène}} \cdot \frac{E}{H_c}$$

$$\dot{m}_{\text{Oxygène}} = \min(\dot{m}_{\text{Oxygène disponible}}, \dot{m}_{\text{Oxygène requis}})$$

Avec E désignant le facteur de Thornton (13,1 MJ/kg O₂) et H_c l'enthalpie de combustion du produit (MJ/kg)

Le débit-masse d'oxygène disponible est calculé de la manière suivante :

$$\dot{m}_{\text{Oxygène disponible}} = \dot{m}_e Y_{O_2} \cdot \frac{\tanh(800(Y_{O_2} - Y_{LOL}) - 4) + 1}{2}$$

\dot{m}_e désigne le débit d'entraînement d'air par la flamme,

Y_{O_2} désigne la fraction massique d'oxygène,

Y_{LOL} désigne la limite retenue de concentration en oxygène.

Cela permet de faire décroître le taux de combustion progressivement, par l'intermédiaire d'une fonction tangente hyperbolique, dès que le taux d'oxygène disponible est au-dessous du taux requis par la stœchiométrie. Une seconde condition de même type est basée sur la température.

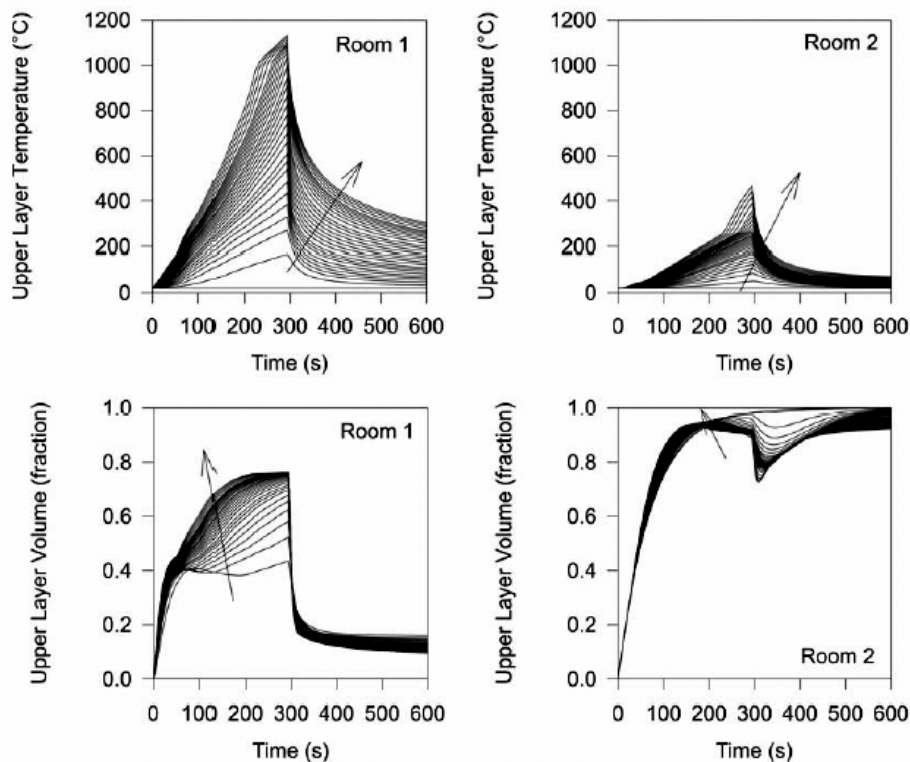
De tels algorithmes constituent les limitations physiques de la combustion. Des dispositifs similaires existent dans d'autres outils. FDS présente par exemple le même type de limitations, basées sur la température et la teneur en oxygène des cellules gazeuses.

Les limitations numériques sont des algorithmes de vérification interne ou externe du calcul et permettent de s'assurer de la validité des calculs. Souvent, ils bloquent un paramètre à une valeur seuil en fonction de divers paramètres.

B. La sensibilité

Un exemple de sensibilité du modèle aux données d'entrée est présenté ci-dessous. Cet exemple montre la difficulté d'une telle étude. Différentes études réalisées et synthétisées par le NIST montrent que la sensibilité du modèle aux données d'entrée provient premièrement du terme source de chaleur utilisé (débit calorifique du foyer), suivi par les surfaces des ouvertures.

L'exemple ci-après montre la sensibilité de la température de la couche chaude et du volume de fumée au débit calorifique observés dans la pièce du foyer et un local adjacent :



Exemple de sensibilité du modèle aux données d'entrées :

Sur un outil de zone, il est possible d'utiliser les méthodes d'étude de la sensibilité par les techniques stochastiques comme la méthode de Monte-Carlo. Pour une étude de sensibilité selon cette méthode probabiliste, il convient alors de fixer les valeurs de chaque paramètre d'entrée, mais aussi sa plage de variation possible (ou son incertitude) et la loi de distribution correspondante. Le logiciel va alors tirer au hasard un grand nombre de jeux de paramètres d'entrée dans l'intervalle de confiance indiqué, et dont la probabilité individuelle correspond à la loi programmée.

Toutes ces situations sont ensuite calculées et l'influence des paramètres d'entrée sur les paramètres de sortie apparaît alors sous forme de nuage de distribution. Ce type de technique est très puissant, car il permet d'évaluer l'influence du modèle et la sensibilité de tous les paramètres d'entrée sur chacun des paramètres de sortie. Toutefois, il requiert un nombre élevé de tirages aléatoires, en général plusieurs dizaines de milliers. De ce fait, et du fait de la puissance de calcul disponible, cette technique est utilisable pour les outils simples comme les logiciels de zone, mais peut difficilement être étendue aux logiciels de champ, si ce n'est pour déterminer l'influence d'un seul paramètre d'entrée, pour lequel le nombre de situations à étudier peut être réduit.

L'exemple ci-dessous présente l'influence des conditions ambiantes et limites de combustion sur deux paramètres de sortie du logiciel CFAST. Les travaux ont été réalisés au LNE à l'aide de Matlab et CrystalBall 7.2. La méthode utilisée est la méthode de Monte-Carlo : un grand nombre de jeux de paramètres d'entrée sont générés aléatoirement. L'influence de chacune des situations est ainsi directement évaluée et les covariances sont prises en compte. Trois étapes ont été réalisées :

- Premièrement, le cas de référence a été établi.
- Deuxièmement, 500 tirages indépendants de chacune des données d'entrée étudiée ont été réalisés, suivant différentes lois de distribution. L'objectif est alors de déterminer la sensibilité de l'outil aux différentes données d'entrée et l'effet des lois de distribution sur les données de sortie.
- Troisièmement, plus de 25000 tirages ont été réalisés en faisant varier toutes les données d'entrée simultanément, afin de déterminer la combinaison globale des lois de sortie.

La situation de référence étudiée est un feu dans une simple pièce avec porte ouverte. La pièce fait 6 m par 4 m, pour une hauteur sous plafond de 2,4 mètres et des parois plâtrées. La porte fait 0,8 m de largeur et 2 m de haut. Le foyer est composé d'un feu de lits superposés, issu de la bibliothèque de CFAST. Aucune covariance n'est estimée dans les données d'entrée. La vérification de la génération aléatoire des variables est réalisée par comparaison de la moyenne, de l'écart-type du tirage et d'un test du Khi-2.

Les variables d'entrée sont les suivantes :

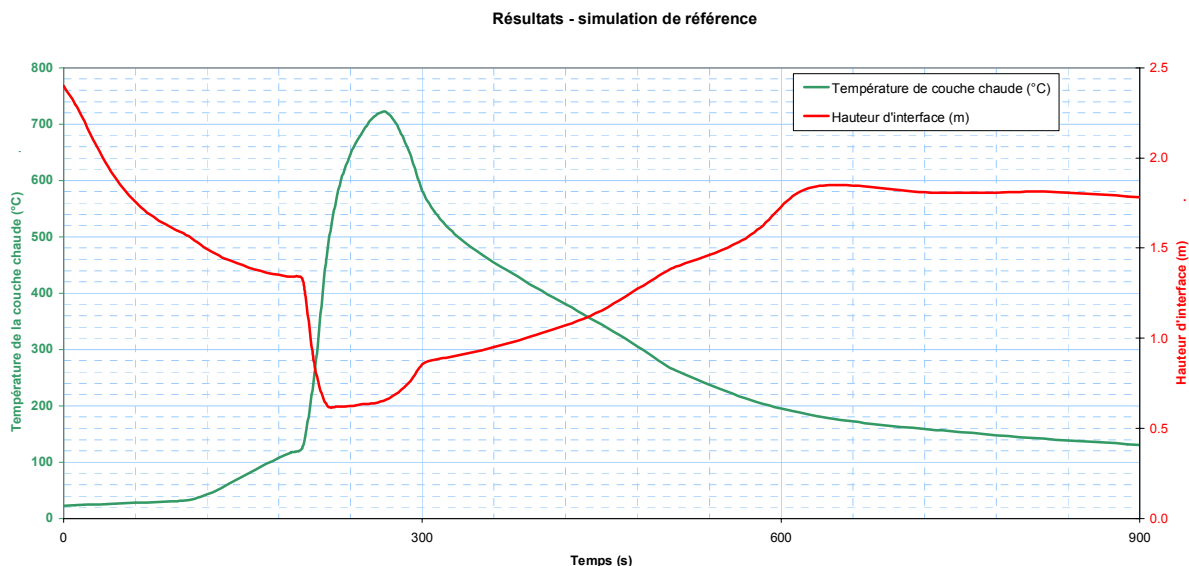
Variable	Valeur moyenne	Variation	Loi de distribution
Température ambiante (°C)	23	± 5	Normale à 95%
Température extérieure (°C)	15	± 15	Normale à 95%
Pression ambiante (Pa)	101 325	± 10 000	Normale à 95%
Humidité relative (%)	50	± 50	Normale à 95%
Limite O ₂ de combustion (%)	10	± 5	Uniforme

Les variables de sortie exploitées dans l'exemple sont la température maximum atteinte par la couche chaude et la hauteur minimale d'interface. Le paramètre de coupure de la combustion en fonction de la teneur en oxygène est un paramètre numérique de l'outil. En l'absence de connaissance de cette valeur, sa variation sera

considérée comme uniforme sur l'intervalle 5 à 15 % d'oxygène (valeur par défaut de CFAST : 10 %)

Première étape : cas de référence

La situation de référence, c'est à dire avec les valeurs moyennes précédentes, donne les résultats suivants :



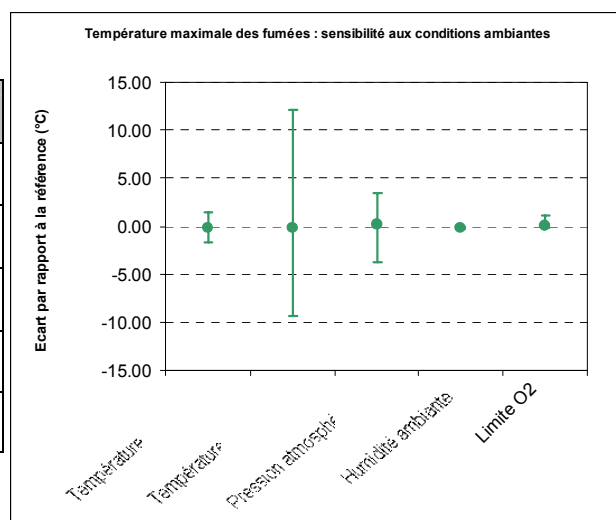
Température maximale atteinte : 721,1 °C
Hauteur minimale de l'interface : 0,622 m

Seconde étape : effet de la variation d'un paramètre

La seconde étape donne de nombreux résultats, résumés ci-dessous :

Température maximale de la couche chaude :

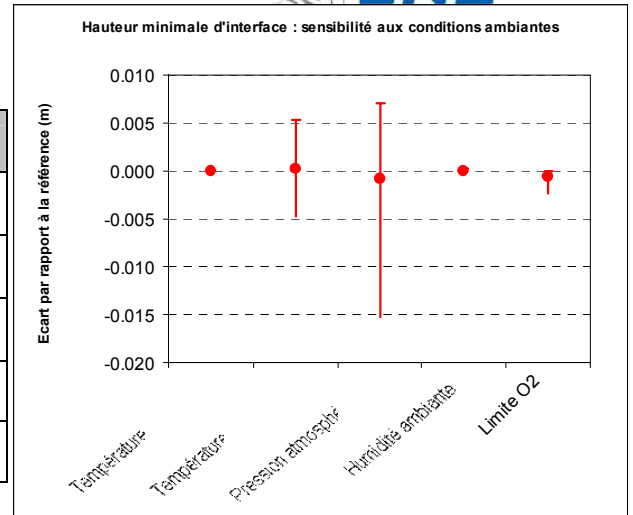
	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart-type	
Température ambiante	719,43	720,90	722,48	0,50	0,07%
Température extérieure	711,74	720,95	733,15	4,25	0,58%
Pression atmosphérique	717,33	721,25	724,45	2,16	0,30%
Humidité ambiante	720,84	720,95	721,03	0,04	0,01%
Limite O ₂	720,94	721,09	722,14	0,29	0,04%



Dans le cas présent, le paramètre le plus influent est la température extérieure, pouvant engendrer des écarts de plus de 10°C sur la température maximum de la couche chaude.

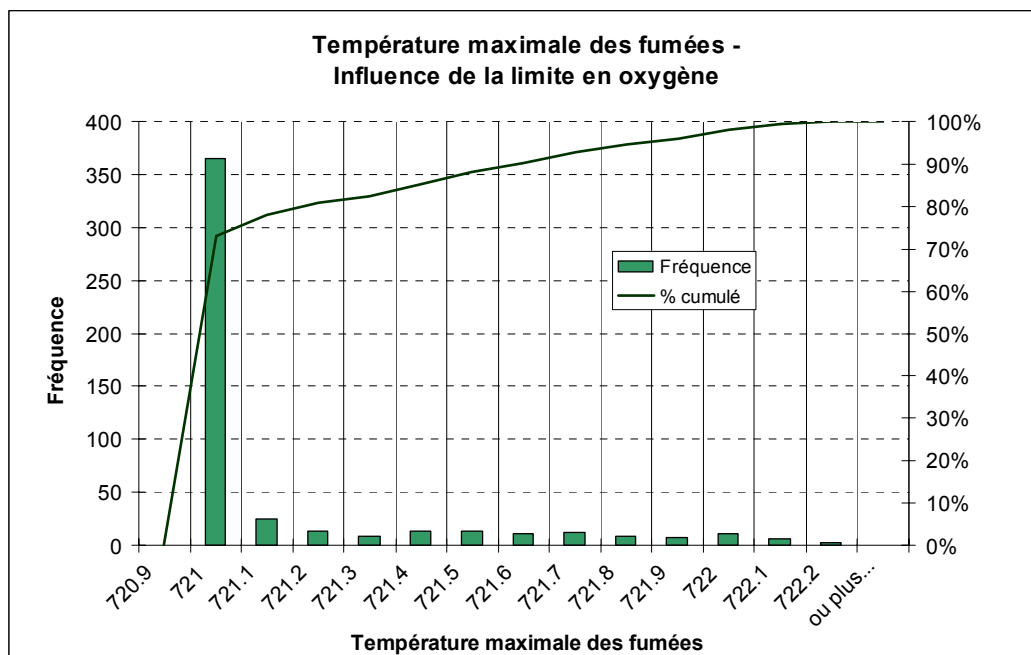
Hauteur minimale d'interface :

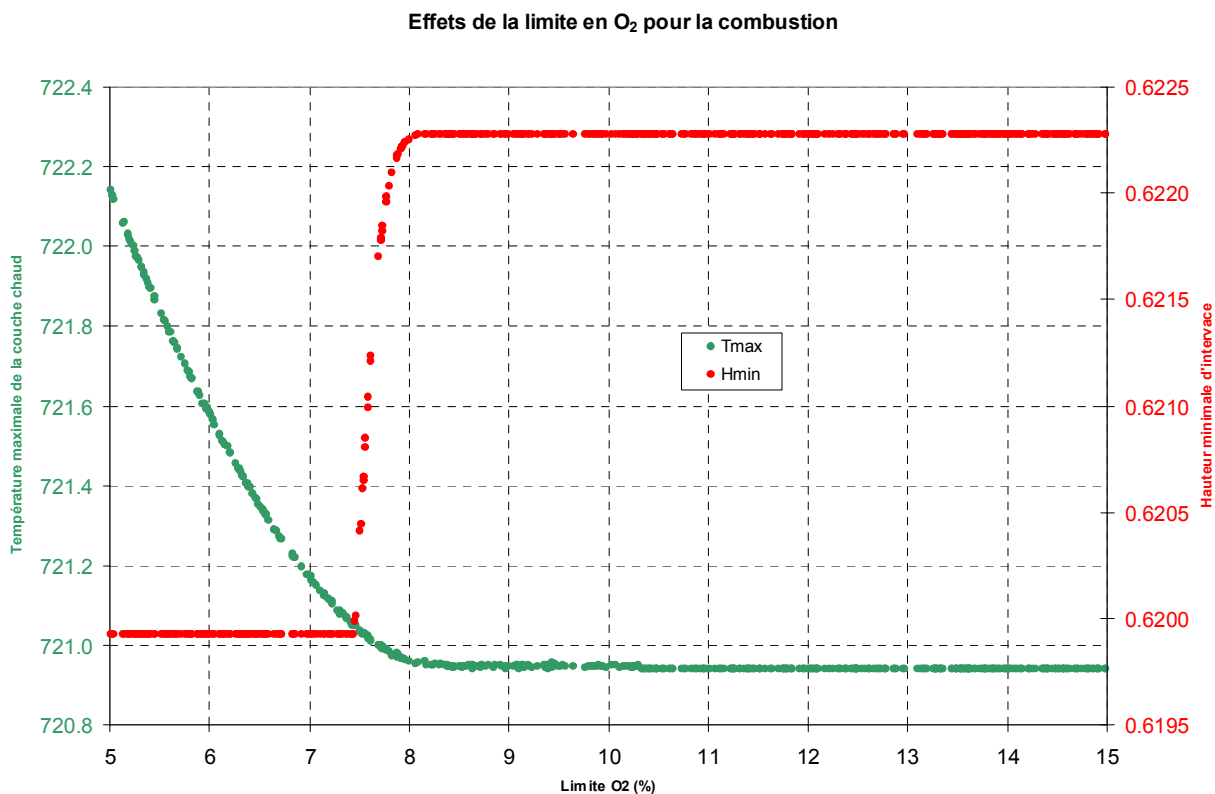
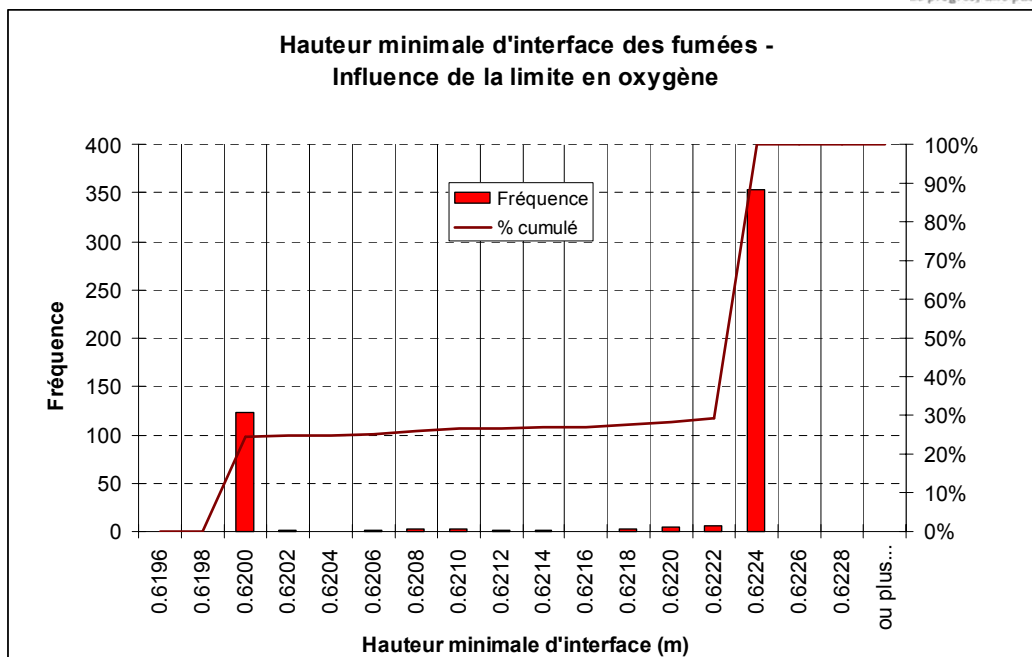
	Minimum	Moyenne	Maximum	Ecart-type	
Température ambiante	0,622	0,622	0,622	0,000	0,00%
Température extérieure	0,617	0,622	0,628	0,001	0,18%
Pression atmosphérique	0,607	0,621	0,629	0,004	0,67%
Humidité ambiante	0,622	0,622	0,623	0,000	0,02%
Limite O ₂	0,620	0,622	0,622	0,001	0,16%



Les sensibilités observées sur la hauteur minimale d'interface sont nettement inférieures. Le principal paramètre influençant celle-ci est la pression atmosphérique, mais l'amplitude de l'influence est de l'ordre de 2 cm.

Les lois de distribution prises par les valeurs de sortie observées en fonction des lois d'entrée pour un paramètre montrent des différences importantes. Le paramètre correspondant à la limite en oxygène pour la combustion montre le comportement le plus atypique dans la situation étudiée, du fait du principe de cette limitation numérique. Son comportement est détaillé graphiquement ci-après.





Typiquement, dans le cas étudié, l'influence de ce paramètre se fait sentir pour une valeur comprise entre 7 et 8 %. L'influence est faible en amplitude, mais sa forme est caractéristique d'un comportement discret. La loi de distribution des données de sortie est ainsi non déterminable. Pour la hauteur d'interface, elle s'approche même d'une distribution de Bernouilli.

Troisième étape : variation simultanée de l'ensemble des paramètres

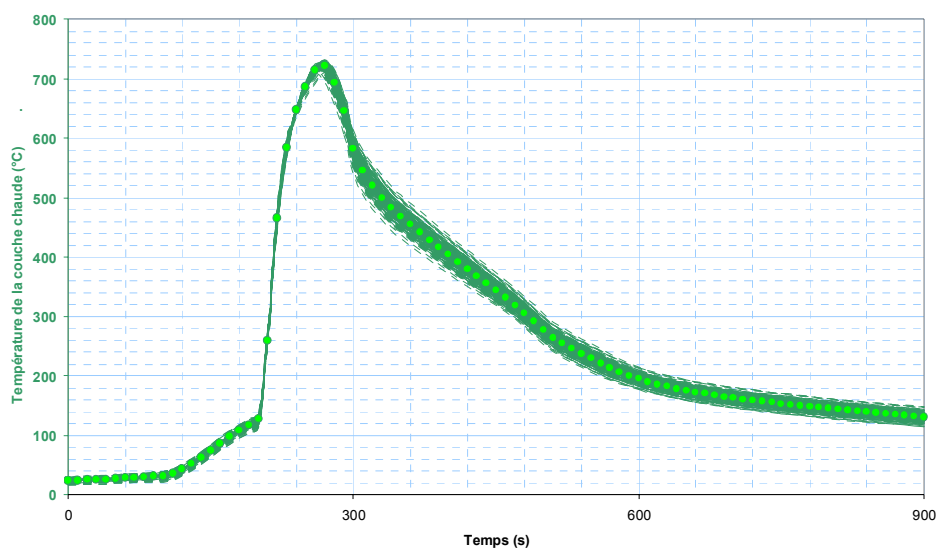
L'analyse détaillée des données de sortie étudiées est reprise ci-après. Afin de rechercher les lois de distribution les plus à-même de traduire les variations observées, trois tests statistiques sont réalisés :

- Le test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov, dont le résultat correspond essentiellement à la plus grande distance verticale entre les deux distributions cumulatives. Généralement une valeur inférieure à 0,03 indique un bon ajustement ;
- Le test d'ajustement du Chi-carré (Khi-deux), indiquant l'accord général en décomposant la distribution en secteurs d'égale probabilité et en comparant le nombre d'observations dans ce secteur à celui théorique du secteur. Une valeur supérieure à 0,5 indique un accord du modèle ;
- Le test d'Andersen-Darling, proche du test de Kolmogorov-Smirnov mais donnant plus d'importance aux valeurs extrêmes qu'aux valeurs centrales. Une valeur du test de moins de 1,5 indique un ajustement correct.

Température maximum de la couche chaude :

Nombre tirages :	28531	
Valeur minimale :	672,61°C	
Valeur maximale :	738,52°C	
Valeur moyenne :	721,28°C	
Ecart-type :	4,20°C	soit 0,58 %
Valeur de référence	721,07°C	
Ecart moyenne / référence	0,21,	soit 0,029 %

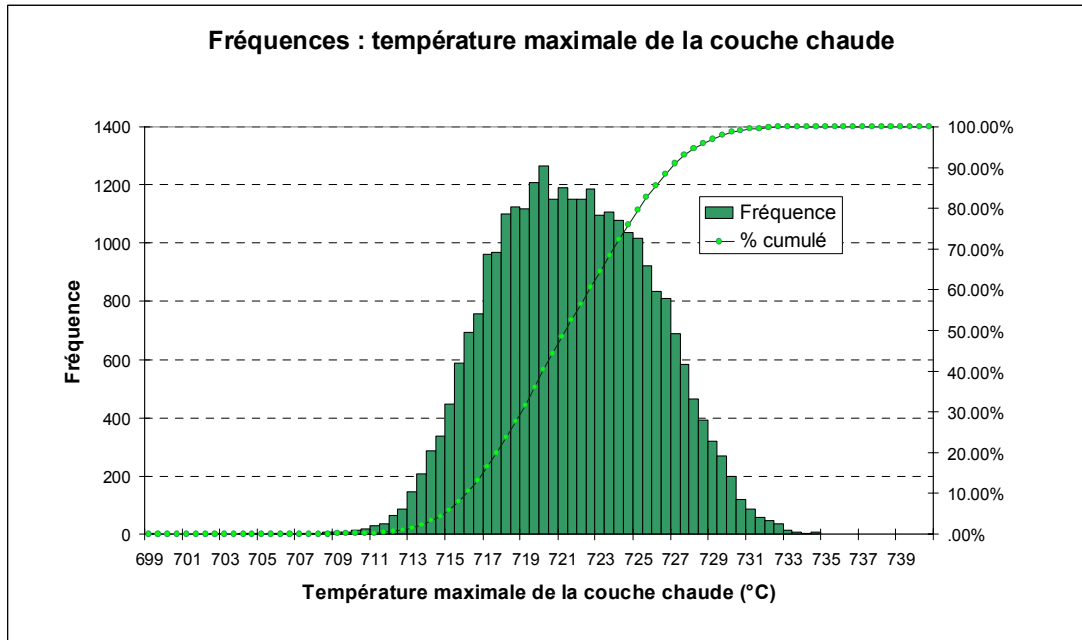
Température de la couche chaude - Résultats



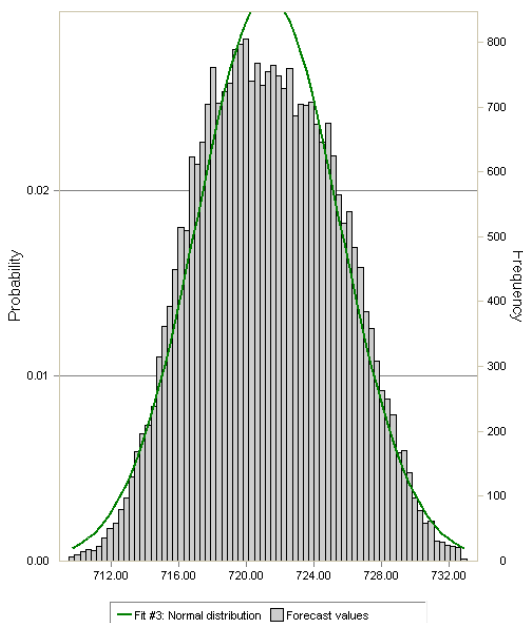
Les résultats graphiques montrent que le point pour lequel les variations les plus importantes sont observées n'est pas le point du maximal de température. Ces

résultats montrent que, à certains temps, l'influence des différentes conditions étudiées est notable et s'observe principalement dans la phase de refroidissement.

Note : Sur la représentation graphique, seuls les 256 premiers calculs sont présentés.



Recherche de lois de distribution :



Distribution	A-D	Chi-Square	K-S
Beta	34.16	616.37	.02
Lognormal	35.27	628.65	.02
Normal	36.26	633.07	.02
Student's t	39.95	913.55	.02
Logistic	86.58	1719.19	.03
Gamma	147.88	1563.35	.04
Weibull	319.31	4178.72	.07
Triangular	8624.40	40000.80	.46
Pareto	11030.85	226125.19	.55
Exponential	12936.94	2977716.56	.62
Uniform	13831.90	94499.56	.60
Min Extreme	113672.59	1594061.24	.78
Max Extreme	976600.55	3195246.01	1.00

AD : Andersen-Darling
K-S : Kolmogorov-Smirnov

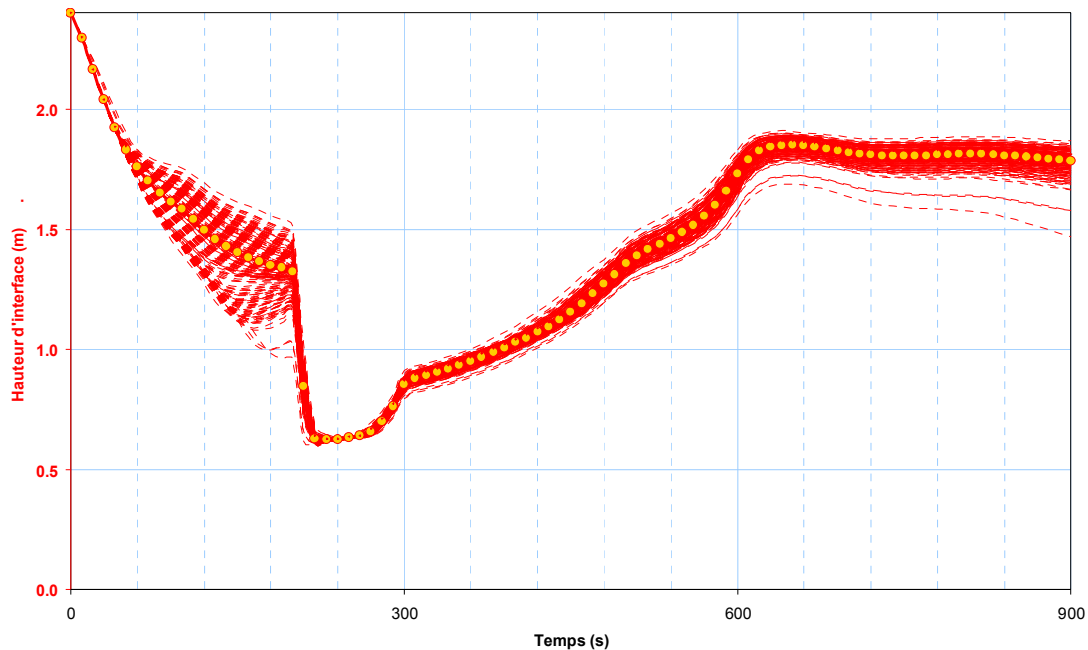
La loi normale donne un agrément non parfait, mais suffisant, tout comme les lois bêta, lognormale ou Student, plus difficiles à utiliser. Les paramètres de sortie donnent une moyenne de 721,28°C et un écart-type de 4,20°C. Dans le cas étudié, si les conditions ambiantes ne sont pas connues, la température maximale des fumées est donc :

$$T_{\max} = (721,28 \pm 8,40) \text{ °C à } 95\% (k=2)$$

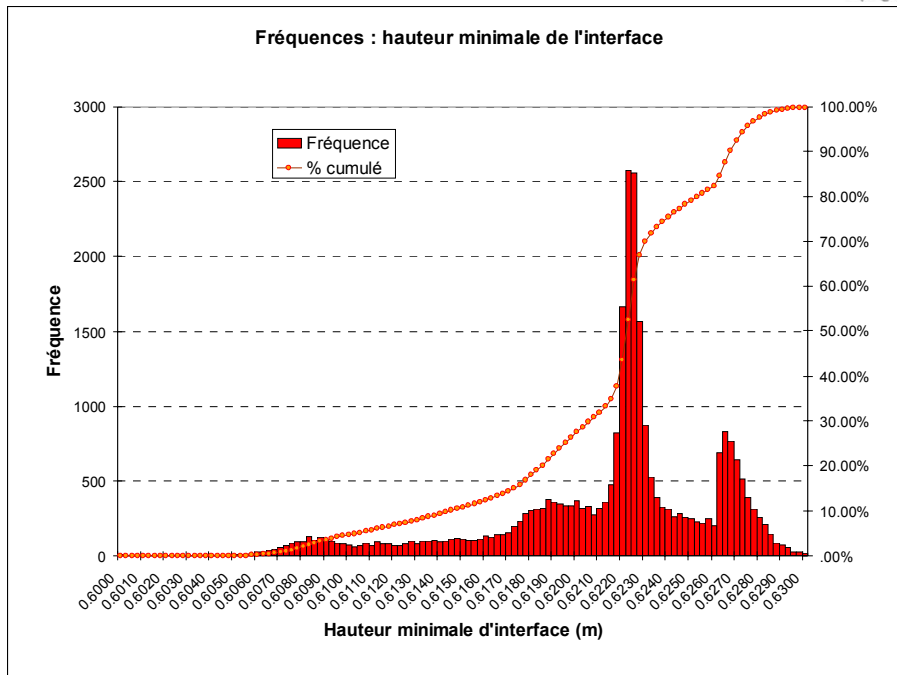
Hauteur minimale de l'interface de fumées

Nombre tirages :	28531	
Valeur minimale :	0,5785	
Valeur maximale :	0,6334	
Valeur moyenne :	0,6213	
Ecart-type :	0,0048	soit 0,77 %
Valeur de référence	0,6223	
Ecart moyenne / référence	- 0,001,	soit 0,16 %

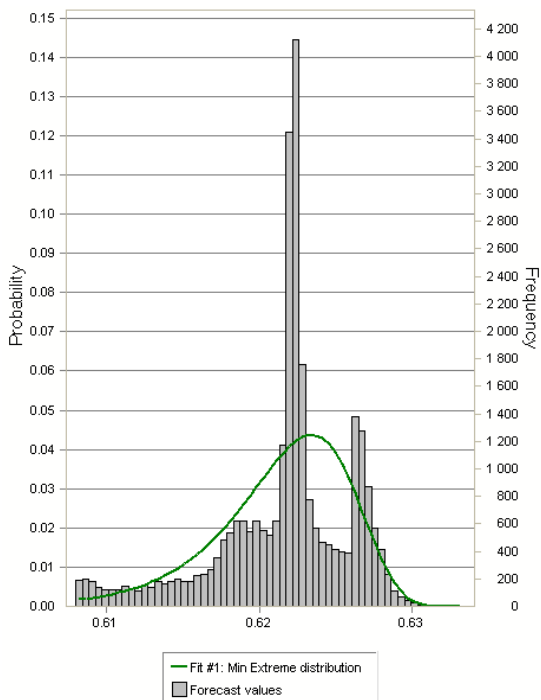
Hauteur d'interface - Résultats



Les résultats graphiques montrent que le point pour lequel les variations les plus importantes sont observées n'est pas le point du minimum de hauteur d'interface. Ces résultats montrent que, à certains temps, l'influence des différentes conditions étudiées est primordiale, en particulier en début de sinistre. En particulier, dans le cas étudié, le temps d'atteinte d'une hauteur de couche chaude donnée peut varier de plus de deux minutes pour des hauteurs de l'ordre de 1,5 m.



Recherche de lois de distribution :



Distribution	A-D	Chi-Square	K-S
Min Extreme	401.42	19835.48	.11
Weibull	465.91	21500.47	.12
Student's t	485.61	21313.57	.08
Logistic	618.27	24838.38	.12
Beta	694.01	22337.57	.14
Normal	932.28	29913.34	.17
Lognormal	954.64	30240.76	.17
Gamma	1167.20	33458.98	.18
Triangular	8845.38	82448.69	.42
Pareto	10630.63	373855.03	.48
Exponential	12904.84	2569147.88	.62
Uniform	16317.59	164365.68	.56
Max Extreme	976453.31	3195020.03	1.00

AD : Andersen-Darling
 K-S : Kolmogorov-Smirnov

La distribution observée ne correspond à aucune des lois classiques. Elle est asymétrique et produite par la somme de nombreuses lois de natures différentes. En l'absence de loi déterminable, l'effet des paramètres d'entrée est estimé global. Dans le cas étudié, si les conditions ambiantes ne sont pas connues, la hauteur minimale de l'interface des fumées est donc :

$$H_{\min} = (0,6213 \begin{matrix} +0,0121 \\ -0,0428 \end{matrix}) \text{ m}$$

Naturellement, ces conclusions ne sont valables que dans la situation étudiée. Néanmoins, pour des situations proches en termes de géométrie, conditions ambiantes et débit calorifique, ces résultats peuvent être considérés fiables.

V. Références

- [1] Comparison of FDS model predictions with FM/SNL fire test data NIST Technical Report GCR 01-810P, W. Mowrer, Avril 2001
- [2] Principles of Fire Behaviour, J. Quintiere, Delmar Publishers 1997, ISBN 0-8273-7732-0
- [3] Assessment of CFAST, W. W. Jones, ISO/TC92/SC4 Workshop on Assessment of Calculation Methods in FSE, April 10, 2006 , Southwest Research Institute, USA
- [4] Technical Reference Guide for FPEtool Version 3.2, NISTIR 5486, S. Deal, NIST 1994
- [5] The Role of Measurement Uncertainty in the Validation of Calculation Methods for Fire Safety Engineering, M.L. Janssens, ISO/TC92/SC4 Workshop on Assessment of Calculation Methods in FSE, April 10, 2006 , Southwest Research Institute, USA
- [6] NIST Special Publication 1041 CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) - User's Guide – W. Jones, R. Peacock, G. Forney, and P. Reneke (NIST), décembre 2006
- [7] CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), Technical Reference Guide - W. Jones, R. Peacock, G. Forney, and P. Reneke, NIST Special Publication 1026 (2005).