

Projet DIFISEK

Partie 4 : Outils de calcul informatiques

J.J. Martínez de Aragón; F. Rey & J.A. Chica
LABEIN Technological Centre, Bilbao, Spain

Résumé : L'un des principaux objectifs du projet DIFISEK consiste à rassembler et à évaluer les logiciels de modélisation d'incendie disponibles sur le marché. Afin de réaliser correctement cette évaluation, il est nécessaire de classer ces outils et de fixer des critères d'évaluation. En 1992, Friedman a réalisé une étude sur les modèles numériques d'incendie dans le cadre du Forum International de Coopération pour la Recherche en matière d'incendie. En 2003, Olenick & Carpenter ont amélioré cette étude en y incorporant de nouveaux logiciels et une discussion sur les catégories de logiciels pour l'incendie. Ce document vise à présenter une nouvelle classification qui prend en compte la discussion précédente ainsi que la nouvelle liste de logiciels disponibles, en insistant sur les logiciels gratuits. Dans ce document, nous établissons les aspects les plus importants à aborder afin d'évaluer un logiciel. De cette manière nous fournissons un guide qui permet à l'applicateur de choisir le logiciel d'incendie qui convient à ses besoins. Un total de 172 logiciels a été dénombré, 27 d'entre eux sont gratuits.

1 INTRODUCTION

L'objectif de l'ingénierie de la sécurité des structures en situation d'incendie est d'avoir des méthodes de calcul fiables pour concevoir des structures résistantes au feu. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de démontrer par ces méthodologies que la fonction porteuse d'une structure est assurée sur une durée supérieure à la durée de stabilité requise (cf. figure 1).

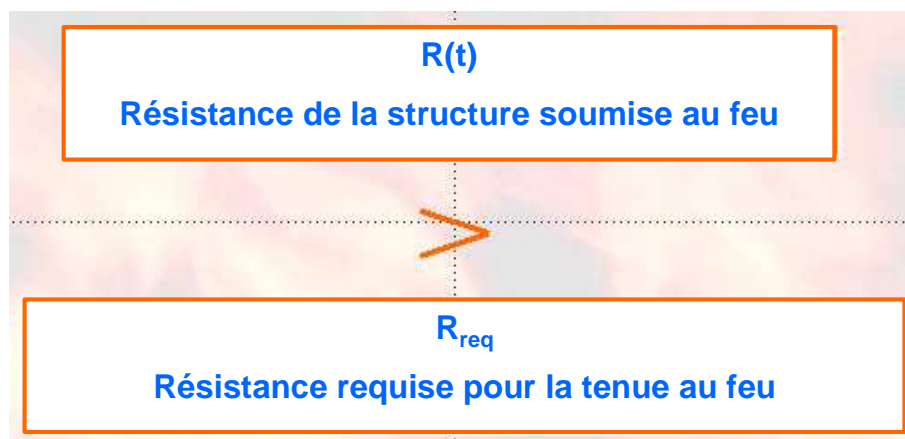


Figure 1 Condition nécessaire à la tenue au feu d'une structure

Ces quinze dernières années ont vu un grand nombre de projets se réaliser autour du développement de méthodes de calcul permettant de déterminer la résistance des structures soumises à l'incendie. Toutes ces méthodes ont été retranscrites dans les Eurocodes et sont reliées aux différentes situations qui se présentent durant un incendie.

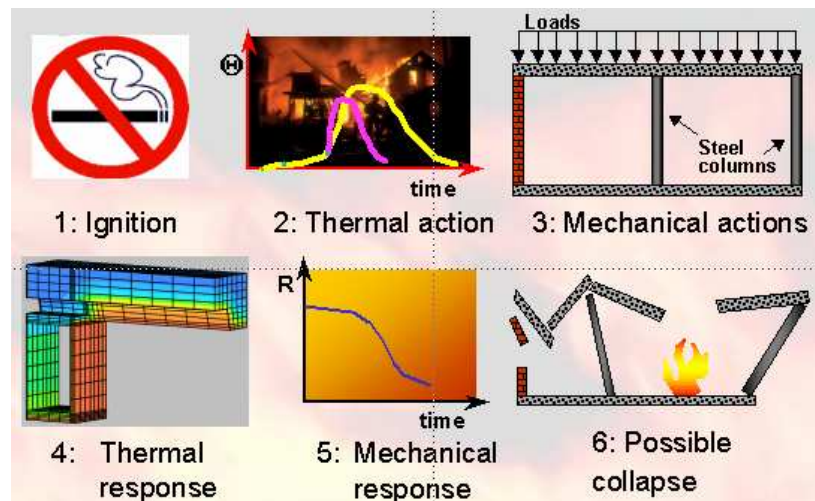


Figure 2 Succession des événements durant un incendie

Afin de déterminer le niveau de sécurité d'une structure, il est également nécessaire de satisfaire clairement les exigences requises pour la structure. Normalement, ces exigences sont définies en fonction du temps. Chaque pays possède ses propres normes et réglementations qui spécifient ces exigences (exigences normatives). Au travers de l'ingénierie de la sécurité incendie, différentes méthodologies ont été développées récemment, afin de déterminer ces exigences de manière plus réaliste (exigences par objectifs).



Figure 3 Exigences Réglementaire – Exigence par Objectif

De nombreux logiciels ont été développés afin de prédire si une structure satisfait ces deux critères ($R_{résistance}$ de la structure en situation d'incendie et R_{requis} pour la sécurité). Au total, 172 ont été dénombrés, 27 d'entre eux sont libre d'accès.

Dans ce document, nous voulons non seulement faire une revue de ces logiciels, mais aussi fournir un guide qui permet à l'utilisateur de choisir le logiciel d'incendie qui convient à ses besoins. Pour choisir le plus approprié, il est très important de savoir ce qu'est un modèle d'incendie, ce qu'est un logiciel de simulation d'incendie et quel est le domaine d'application de ces modèles.

Un modèle numérique d'incendie est un outil qui simule les événements liés au feu, de la combustion à l'évacuation des personnes en passant par l'effondrement des structures (il ne s'agit pas seulement d'évaluer la propagation du feu et des fumées). Ces modèles peuvent être déterminés soit d'après un modèle expérimental, soit d'après un modèle mathématique. Les modèles expérimentaux ne s'appliquent que pour certains domaines physiques et (ou) humains (par exemple un compartiment) et ne sont pas

l'objet de ce document ; tandis que les modèles mathématiques, eux, emploient une série d'équations qui décrivent les phénomènes liés à l'incendie. Ce sont ces logiciels qui sont l'objet de ce document.

Les modèles mathématiques sont répartis entre les modèles déterministes et les modèles statistiques. Les premiers sont décrits par les lois de la physique, de la thermique et de la chimie. Les seconds ne font pas directement appel à ces notions et procurent simplement des prévisions probabilistes concernant tel ou tel événement lié au feu. Au vu de la complexité de ces équations et du grand nombre d'itérations que leurs résolutions impliquent, l'ordinateur est indispensable. Le logiciel de modélisation n'est qu'un outil permettant de résoudre ces équations, qu'elles soient déterministes ou statistiques.

Il existe de nombreux événements liés au feu. Nous adopterons tout d'abord une classification des logiciels par rapport aux phénomènes qu'ils sont capables de décrire.

2 CLASSIFICATION DES LOGICIELS D'INCENDIE

Les logiciels d'incendie les plus communs décrivent le transfert et le transport de la fumée et de la chaleur dans un compartiment. Ces logiciels sont appelés « modèles de zones » et « modèles de champs ». Mais les modèles diffèrent selon leurs domaines d'applications ; par exemple, la résistance des structures au feu ou les modèles de détection d'incendie. La classification adoptée par Olenick et Carpenter est subdivisée en six types d'application : Résistance au feu des structures, modèle de zone, modèle de champs, évacuation des personnes, réponse des systèmes de sécurité et enfin les divers. Nous réduisons ici le nombre de catégories à cinq en regroupant les modèles de zones avec les modèles de champs dans une nouvelle catégorie que nous appelons « modèle thermique d'incendie ». De cette manière, les logiciels sont classés strictement selon leur domaine d'application et non plus sur les méthodes mathématiques qu'ils emploient.

Dans cette classification, nous pouvons distinguer deux groupes (cf. Figure 4) :

- le premier donne la réponse thermique et mécanique de la structure durant le feu (cf. la succession des événements Figure 2),
- le second s'intéresse à la détermination des exigences que la structure doit satisfaire en cas d'incendie.

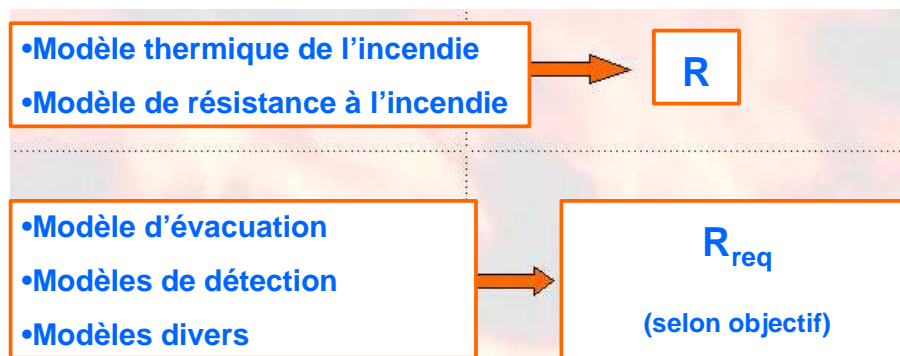


Figure 4 Regroupement par domaine d'application

2.1 Modèles Thermiques d'Incendie

Pour ce domaine d'application, les logiciels que l'on peut trouver se différencient selon leur méthode de résolution des réponses thermiques associées au feu. Pour les classer, nous avons suivi la classification de l'EN 1991-1-2 :2002 qui traite des actions thermiques pour l'analyse de la température des structures.

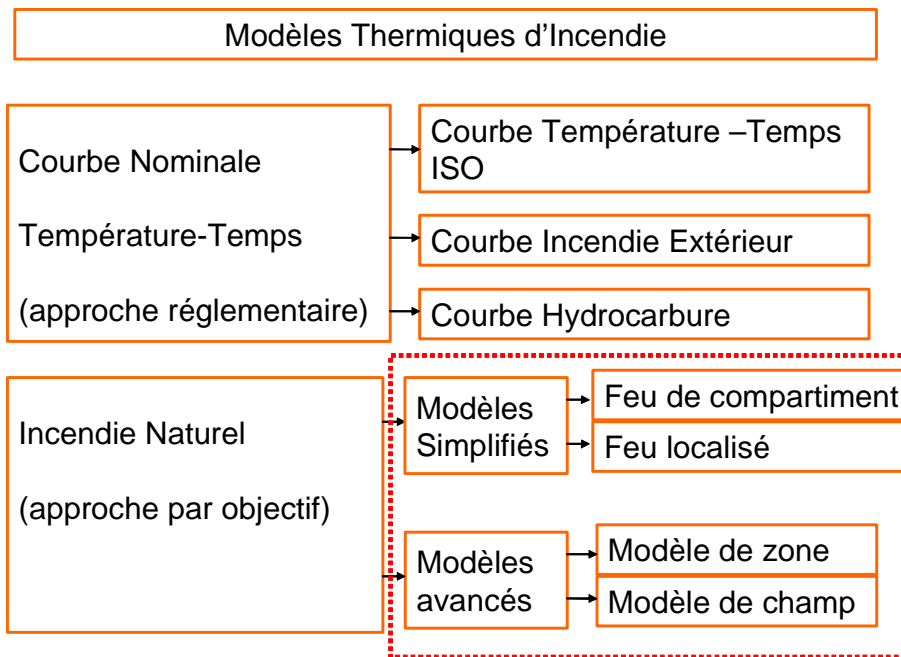


Figure 5 Analyse thermique – Modèle thermique d’incendie

Ainsi, pour une approche par objectif, la classification des modèles thermiques d’incendie est la suivante :

- Modèles de développement de feu simplifié : subdivisé en Feux de Compartiments et Feux Localisés
- Modèles de développement de feu avancé : subdivisé en Modèle de Champs et Modèle de Zones

2.1.1 Modèles simplifiés

Ces modèles sont basés sur des paramètres physiques spécifiques et ont un domaine d’application limité. Pour les feux de compartiment, on suppose une distribution de température uniforme et, pour les feux localisés, on suppose une distribution non uniforme (modèles de panaches de fumée).

Domaine d’application : Modèle simplifié			
Logiciel	Pays	Index	Description
DIFISEK-CaPaFi	Luxembourg	1	Calcul de la température dans un élément métallique exposé au maximum à 5 sources locales de feu. Basé sur l’EN 1991 -1-2, EN 1993-1-2 et le projet ECSC « Large Compartiments » et « Closed Car Parks »
DIFISEK-EN 1991-1-2 Annexe A	Luxembourg	2	Calcul paramétrique de la température dans un compartiment, ainsi que de la température des éléments métalliques protégés ou non
DIFISEK-TEFINAF	Luxembourg	3	Calcul du champ de température dans une section transversale de profilé métallique en fonction du temps. Le profilé est situé sous le plafond à une distance radiale du foyer. Ce modèle est basé sur le rapport EUR 18868 : « Développement des règles de calculs pour les structures métalliques soumises aux incendies naturels dans les compartiments de grandes dimensions ».

Ces trois logiciels ont été développés par Profil-Arbed et ont été améliorés par Profil-Arbed Researchers (PARE)

2.1.2 Modèles avancés

2.1.2.1 Modèle de Zones

Un modèle de zones est un modèle numérique qui découpe le domaine d'étude en différents volumes de contrôle encore appelés zones. Le plus commun des modèles de zone découpe un volume en deux parties : une zone chaude et une zone froide. Le cas particulier d'un découpage en une seule zone constitue le modèle « une zone ». Ce modèle fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de stratification dans le compartiment simulé (cas de l'incendie généralisé) et que les grandeurs du problème sont homogènes. Certains logiciels permettent de passer d'un modèle « deux zones » à un modèle « une zone » afin de décrire au mieux l'incendie avant et après le flash-over (embrasement généralisé du au rayonnement des gaz chauds en zone chaude (sous plafond) sur les combustibles en zone basse).

Les ingénieurs de la sécurité incendie doivent faire de nombreuses hypothèses pour simplifier les équations qui régissent la base de cette modélisation. Les principales hypothèses sont :

- La fumée forme une couche chaude dans la partie supérieure du compartiment (ce qui est le cas dans les incendies réels). La couche chaude (fumée) et la couche froide (air) sont supposées avoir des propriétés physiques homogènes, ce qui n'est pas vraiment le cas dans la réalité. Cependant, cette approximation est raisonnable puisque les variations des propriétés physiques dans une couche sont faibles devant les variations des mêmes propriétés à l'interface entre les deux zones.
- Le panache conduit les fumées et la chaleur dans la couche chaude. Le volume du panache est supposé petit en comparaison avec le volume de la zone chaude et on néglige son effet dans la stratification des fumées. On considère ainsi que toutes les fumées montent de manière uniforme dans le compartiment et non pas, comme dans la réalité, c'est-à-dire dans le panache, juste au dessus du foyer.
- Le mobilier dans la pièce n'est pas compté ; la chaleur s'évacue uniquement par transfert thermique aux parois et aux ouvertures du compartiment. (Certains modèles de zones peuvent néanmoins déterminer la propagation des flammes à quelques meubles).

Les paramètres d'entrée des modèles de zones sont généralement la géométrie du compartiment, les propriétés thermiques des parois (tous les murs, le sol et le plafond), le nombre et la taille des ouvertures (fenêtres, portes ouvertes, vitrage brisé, ventilations), la nature et le débit calorifique du combustible.

Les grandeurs de sortie des modèles de zones sont, principalement, les temps de réponse du système de sécurité (détecteur, alarme et sprinklers), la durée minimale avant flash-over, les propriétés thermo-chimiques dans les deux couches (température, pression, concentration des espèces) et enfin la hauteur de l'interface.

Le modèle de zone ne peut correctement prendre en compte le re-rayonnement provenant des parois. Le débit calorifique n'est pas une sortie (grandeur de sortie), des essais d'incendie réels standards sont nécessaires pour quantifier la taille du feu et pour que les experts de l'incendie modélisent de manière correcte chaque cas d'étude.

Domaine d'application : MODELES DE ZONE

Modèle	Pays	Index	Description
ARGOS	Danemark	4	Modèle de zones multi compartiments
ASET/ASET-B	USA	5	Modèle de zones mono compartiment sans aération
ASMET	USA	6	Outil pour la maîtrise des fumées dans un atrium
Branzfire	Nouvelle-Zélande	7	Modèle de zones multi compartiments intégrant la propagation des flammes et un modèle de développement de feu qui s'applique aux scénarios d'incendie dans les compartiments.
BRI-2	Japon/USA	8	Modèles deux zones pour le transport des fumées entre compartiments et dans les étages.
CCFM/Vents	USA	9	Modèle de zones multi compartiments avec ventilation.
Cfire-X	Allemagne/ Norvège	10	Modèle de zones adapté au feu de nappe (i.e. de liquide inflammable)
CiFi	France	11	Modèle de zones multi compartiments
COMPBRN	USA	12	Modèle de zones
COMPF2	USA	13	Modèle de zones mono compartiment post flash-over
<i>DACFIR-3</i>	<i>USA</i>	<i>14</i>	<i>Modèle de zones pour cabine de pilotage d'avion</i>
DSLAYV	Suède	15	Modèle de zones mono compartiment
FAST/CFAST	USA	16	Modèle de zones de prédiction de l'environnement des éléments de structure d'un compartiment.
FASTLite	USA	17	Version spéciale de CFAST
FFM	USA	18	Modèle de zones pré flash-over
<i>FIGARO II</i>	<i>Allemagne</i>	<i>19</i>	<i>Modèle de zones pour déterminer les conditions de tenabilité des personnes dans le compartiment</i>
FIRAC	USA	20	Basé sur FIRIN (index 24), intégrant les systèmes complexes d'aération.
FireMD	USA	21	Modèle deux zones mono compartiment
FireWalk	USA	22	Basé sur CFAST – présentation améliorée
FireWind	Australie	23	Modèle de zone multi compartiments comportant de nombreux sous-modèles.
FIRIN	USA	24	Modèle de zone multi compartiments avec conduits, ventilateurs et filtres.
FIRM	USA	25	Modèle deux zones mono compartiment
FIRST	USA	26	Modèle de zones mono compartiment avec ventilation
FLAMME-S	France	27	Modèle deux zones
FMD	USA	28	Modèle de zones pour atrium
HarvardMarkVI	USA	29	Ancienne version de FIRST (26)
HEMFAST	USA	30	Feu de mobilier dans un compartiment
HYSLAB	Suède	31	Modèle de zones pré flash-over
IMFE	Pologne	32	Modèle de zones mono compartiment avec aération
<i>MAGIC</i>	<i>France</i>	<i>33</i>	<i>Modèle de zones pour les centrales nucléaires</i>
MRFC	Allemagne	34	Modèle de zones multi compartiments, mouvement des fumées et action thermique sur les structures
NAT	France	35	Modèle de zones mono compartiment, orienté réponse des structures
NBS	USA	36	Modèle de zones pré flash-over
NRCC1	Canada	37	Modèle de zones mono compartiment
NRCC2	Canada	38	Modèle de zones pour grands bureaux
OSU	USA	39	Modèle de zones mono compartiment

Ozone	Belgique	40	Modèle de zones mono compartiment, orienté réponse des structures
POGAR	Russie	41	Modèle de zones mono compartiment
RADISM	UK	42	Modèle de zones avec fumées rampantes, ouvertures et sprinklers
RFIRES	USA	43	Modèle de zones pré flash-over
R-VENT	Norvège	44	Modèle d'extraction des fumées
SFIRE-4	Suède	45	Modèle de zones post flash-over
SICOM	France	46	Modèle de zones mono compartiment
SMKFLW	Japon	47	Modèle une zone pour la propagation des fumées dans le bâtiment
Smokepro	Australie	48	Modèle de zones mono compartiment
SP	UK	49	Modèle de zones post flash-over
WPI-2	USA	50	Modèle de zones mono compartiment
WPIFIRE	USA	51	Modèle de zones multi compartiments
ZMFE	Pologne	52	Modèle de zone mono compartiment

La plupart de ces logiciels ont été développés pour évaluer la propagation des fumées et le transport de la chaleur. Leur utilisation pour l'ingénierie des structures au feu est limitée à la détermination de la température des gaz chauds (afin de déterminer ensuite la température des éléments de structure). Les descriptions en gras réfèrent à des logiciels qui permettent directement le dimensionnement des structures. Les descriptions en italique réfèrent à des logiciels qui traitent de cas particuliers et leur utilité pour l'ingénierie des structures soumises au feu est très limitée. Trois autres modèles ont été détectés, mais aucune information à leur propos n'a été obtenue : CISNV (Russia), FirePro (UK), et Fire Walk (USA).

2.1.2.2 Modèles de champs - Simulation Numérique (CFD)

La simulation numérique est à la pointe de ce que peut faire actuellement l'ingénierie de la sécurité incendie. « Computational Fluid Dynamics » signifie mécanique des fluides numérique encore appelée, dans le domaine de la sécurité incendie modèle de champs – Field Models. Un modèle CFD se base sur un maillage 3D constitué de volumes de contrôles élémentaires inclus dans le domaine d'étude. Par souci de simplification, on peut considérer que le modèle CFD n'est rien d'autre qu'un modèle de zone, avec un très grand nombre de zones élémentaires dont le comportement est, en première approximation, identique au comportement globale d'une zone d'un modèle une ou deux zones.

La CFD ou simulation numérique résout l'équation de Navier-Stokes (équation fondamentale de la mécanique des fluides) sur chaque volume élémentaire. Cette approche détaillée est bien plus complexe et prend plus de temps que les modèles de zones (aussi bien en temps de paramétrage qu'en temps de calcul). Cependant, les équations de Navier Stokes ne dépendent que des conditions aux limites du problème. Ainsi, la CFD nécessite beaucoup moins d'hypothèses que les modèles de zone et elle permet de traiter toutes sortes de géométries. Cet outil plus malléable va permettre de répondre de manière plus optimale à certains objectifs de sécurité.

Les paramètres d'entrée sont : la géométrie détaillée des locaux, les propriétés thermiques des parois (murs, plafond et sol), les surfaces d'ouverture sur l'extérieur (ou vers des extracteurs mécaniques), les propriétés du mobilier, les caractéristiques de combustion, les paramètres de turbulence et les paramètres de rayonnement.

Les grandeurs de sortie sont les champs 3D de vitesse, les champs de concentration des espèces chimiques, le champ de température, le champ de pression (d'où le nom modèle de champs), les flux thermiques reçus par les éléments, le temps de réponse du système de sécurité incendie et enfin la durée d'incendie avant flash-over (embrasement généralisé).

La CFD nécessite des temps de calcul importants. En effet, plus il y a de mailles (volumes de contrôles élémentaires) plus le temps de calcul est long. Les modèles CFD peuvent être utilisés pour des géométries complexes.

Certains paramètres font appel à des hypothèses. Comme tout modèle, les modèles CFD doivent nécessairement faire l'objet d'une validation avant d'être considérés comme fiables. Cependant, la modélisation CFD a l'avantage d'être considérablement utilisée dans d'autres domaines d'ingénierie (tels que l'aérospatiale, l'automobile, ...). Ceci signifie que beaucoup d'ingénieurs – bien plus qu'avec les modèles de zones - peuvent tester, développer et vérifier la validité de certains codes CFD. Ces codes largement utilisés sont appelés logiciels généralistes.

Domaine d'application : modèle CFD – simulation numérique – modèles de champs			
Modèle	Pays	Index	Description
<i>ALOFT-FT</i>	<i>USA</i>	<i>53</i>	<i>Mouvement des fumées des grands feux extérieurs</i>
CFX	UK	54	Logiciel CFD généraliste
FDS	USA	55	Code CFD généraliste spécifique à l'incendie
FIRE	Australie	56	Modèle CFD intégrant sprinkler, couplé à la phase solide ou liquide du combustible permettant de prédire le débit calorifique et l'extinction.
FISCO-3L	Allemagne/ Norvège	57	Modèle de champs mono compartiment pour décrire l'interaction des sprays du sprinkler avec les gaz chaud en ventilation naturelle ou forcée
FLUENT	USA	58	Logiciel CFD Généraliste
JASMINE	UK	59	Logiciel CFD de propagation du feu et des fumées
KAMALEON	Norvège	60	Modèle CFD couplé à un logiciel thermique pour la prévision des réponses de la structure.
KOBRA-3D	Allemagne	61	Modèle CFD pour transfert thermique et propagation des fumées.
MEFE	Portugal	62	Modèle CFD pour un ou deux compartiments. Inclut les temps de réponse des thermocouples
PHOENICS	UK	63	Logiciel CFD Généraliste
RMFIRE	Canada	64	Logiciel CFD pour le régime transitoire de la propagation des fumées. Résolution en 2 dimensions
SMARTFIRE	UK	65	Modèle de champs
SmokeView	USA	66	Logiciel de visualisation 3D compatible FDS (55)
SOFIE	UK/Suède	67	Modèle CFD de propagation du feu et des fumées
<i>SOLVENT</i>	<i>USA</i>	<i>68</i>	<i>Modèle CFD pour le transfert et le transport de chaleur et des fumées dans les tunnels</i>
SPLASH	UK	69	Modèle de champs pour décrire l'interaction sprinkler/gaz chauds
STAR-CD	UK	70	Logiciel CFD Généraliste
<i>TUNFIRE</i>	<i>UK</i>	<i>71</i>	<i>Modèle CFD pour le transfert et le transport de chaleur et des fumées dans les tunnels</i>
UNSAFE	USA/Japon	72	Modèle de champs pour les incendies en extérieur ou en intérieur.

La plupart des ces logiciels s'intéressent au transport de la fumée et de la chaleur dans l'incendie. Leur utilisation pour l'ingénierie des structures s'arrête dans le meilleur des cas au calcul de la température dans les éléments structuraux. Les descriptions en gras réfèrent à des codes CFD généralistes qui sont utilisés dans de nombreux domaines autres que l'incendie. Les descriptions en italique réfèrent à des logiciels traitant des cas particuliers d'incendie et leur utilité en ingénierie des structures soumises au feu est très limitée. Trois autres modèles ont été détectés mais aucune information à leur sujet n'est disponible : STREAM (Japon), VESTA (Hollande) et FLOTRAN (USA).

2.2 Modèle de résistance au feu des structures

Ces modèles simulent la réponse mécanique des éléments de structure d'un bâtiment. Le principal but est de déterminer le temps de ruine des éléments soumis au feu. Les lois qui gouvernent ces phénomènes sont celles de la thermique et de la mécanique.

De même que pour les modèles thermiques d'incendie, nous pouvons trouver différents types de logiciels en fonction de la méthode utilisée pour calculer la réponse mécanique associée à un feu. Afin de les classer nous suivons la classification des Eurocodes (EN 1991-1-2 :2002 et EN 1993-1-2 :2003) pour les procédures de calcul (cf. Figure 6)

De cette manière, la classification des modèle de résistance au feu des structure est divisée en deux : logiciel de calcul simplifié et logiciels de calculs avancés.

Les paramètres d'entrée sont habituellement les propriétés des matériaux et les conditions aux limites des éléments de structure (charges incendie comprises).

Les grandeurs de sortie sont les temps de ruine, les contraintes et les déplacements des éléments.

Procédure de Calcul			Valeur tabulée	Méthodes de calcul simplifiées	Méthodes avancées
Reglementation par la norme	Analyse d'un élément	Calcul des actions mécanique et conditions aux limites	OUI	OUI	OUI
	Analyse d'une partie de la structure		NON	OUI, si disponible	OUI
	Analyse de la structure entière	Selection des actions mécaniques	NON	NON	OUI
Reglementation par objectif	Analyse d'un élément	Calcul des actions mécanique et conditions aux limites	NON	OUI, si disponible	OUI
	Analyse d'une partie de la structure		NON	NON	OUI
	Analyse de la structure entière	Selection des actions mécaniques	NON	NON	OUI

Figure 6 Classification des procédures de calcul de structures

2.2.1 Modèles simplifiés de résistance au feu des structures

Ces modèles permettent de calculer le comportement structurel des éléments de manière individuelle, c'est à dire que chaque élément est isolé du reste de la structure. Ce calcul est basé sur les méthodes simplifiées. Certaines de ces méthodes sont incluses dans les modèles de zones et de champs.

Domaine d'application : Modèles simplifiés de résistance au feu des structures			
Modèle	Pays	Index	Description
AFCB	Luxembourg	73	Comportement au feu de poutre mixte selon Eurocode 4
AFCC	Luxembourg	74	Comportement au feu de poteau mixte selon Eurocode 4
<i>CIRCON</i>	<i>Canada</i>	75	<i>Modèle de résistance au feu de poteau circulaire en béton armé</i>
COFIL	Canada	76	Résistance au feu des poteaux creux remplis de béton
Elefir	Belgique	77	Résistance au feu des éléments structurels en acier selon l'Eurocode 3
H-Fire	Allemagne	78	Calcul des valeurs de résistance des éléments mixtes exposés au feu par les méthodes simplifiées de l' EN 1994-1-2
INSTAI	Canada	79	Résistance au feu des poteaux circulaires creux protégés
INSTCO	Canada	80	Résistance au feu des poteaux creux remplis de béton
POTFIRE	France	81	Résistance au feu des poteaux creux remplis de béton basé sur l'annexe G de l'Eurocode 4
<i>RCCON</i>	<i>Canada</i>	82	<i>Modèle de résistance au feu des poteaux rectangulaire rempli de béton armé</i>
RECTST	Canada	83	Résistance au feu des poteaux creux rectangulaire protégés.
<i>SQCON</i>	<i>Canada</i>	84	<i>Modèle de résistance au feu des poteaux carré rempli de béton armé.</i>
WSHAPS	Canada	85	Résistance au feu des poteaux métalliques en W protégés.

Les descriptions en italique réfèrent à des logiciels applicables qu'au structures ou éléments de structure en béton.

2.2.2 Modèles avancés de résistance au feu

Ces modèles permettent de simuler les modes statiques ou/et dynamiques d'une partie ou de l'ensemble d'une structure. Ces logiciels sont principalement des codes par éléments finis et certains sont utilisés dans d'autres branches de l'industrie.

Domaine d'application : Modèles avancés de résistance au feu des structures			
Modèle	Pays	Index	Description
ABAQUS	USA	86	Code éléments finis - Généraliste
ALGOR	USA	87	Code éléments finis - Généraliste
ANSYS	USA	88	Code éléments finis - Généraliste
BoFire	Allemagne	89	Code éléments finis – gère le transitoire, la non-linéarité, l'incrémentation. Les propriétés mécaniques et thermiques des matériaux de l'ENV 1994-1-2 y sont implémentées. Structure acier et structure mixte peuvent être traitées.
<i>BRANZ-TR8</i>	<i>Nouvelle-Zélande</i>	<i>90</i>	<i>Ce logiciel est dédié à l'analyse de la résistance au feu des systèmes de plancher béton armé ou précontraint</i>
CEFICOSS	Belgique	91	Modèle de résistance au feu
CMPST	France	92	Résistance mécanique en section à température élevée
<i>COMPSTL</i>	<i>Canada</i>	<i>93</i>	<i>Température des dalles multicouches soumises au feu</i>
COSMOS	USA	94	Code éléments finis - Généraliste
FASBUS	USA	95	Résistance mécanique pour les éléments de structure soumis au feu
FIRES-T3	USA	96	Logiciel de transfert thermique 1D ,2D ou 3D
HSLAB	Suède	97	Logiciel résolvant le régime transitoire dans une dalle composée de plusieurs matériaux
LENAS	France	98	Comportement mécanique des structures acier au feu
LUSAS	UK	99	Logiciel généraliste pour l'ingénieur
NASTRAN	USA	100	Code éléments finis - Généraliste
SAFIR	Belgique	101	Analyse des états mécaniques et transitoires d'une structure soumise au feu.
SAWTEF	USA	102	Analyse structurelle de plaque de métal montée sur treillis en bois.
SISMEF	France	103	Comportement mécanique des structures mixtes (acier béton) soumises au feu.
STA	UK	104	Régime transitoire de conduction dans les éléments exposés au feu
STELA	UK	105	Code volume fini 3D – intégré à JASMINE (59) et SOFIE (67), pour le calcul de la réponse thermique des éléments de structure soumis au feu.
TASEF	Suède	106	Code éléments finis – analyse thermique des éléments de structure soumis au feu
<i>TCSLBM</i>	<i>Canada</i>	<i>107</i>	<i>Analyse 2D des températures dans les assemblages poutre/dalle exposés au feu.</i>
THELMA	UK	108	Code éléments finis – analyse thermique des éléments de structure soumis au feu
<i>TR8</i>	<i>Nouvelle-Zélande</i>	<i>109</i>	<i>Résistance au feu des dalles et planchers en béton.</i>
VULCAN	UK	110	Logiciel d'analyse 3D orienté comportement des charpentes métalliques ou mixtes, incluant les dalles planchers, en situation d'incendie.
<i>WALL2D</i>	<i>Canada</i>	<i>111</i>	<i>Modèle de transfert thermique à travers les cloisons dont les montants sont en bois.</i>

Les codes dont les descriptions apparaissent en italique ne sont pas valables pour les structures en acier. Les descriptions en gras réfèrent à des codes généralistes par éléments finis (utilisés dans de multiples domaines) Deux autres logiciels ont été répertoriés, mais aucune information à leur sujet n'est disponible : HEATING et TASS

2.3 Modèles d'évacuation des personnes

Ces modèles permettent de prévoir le temps nécessaire aux personnes pour évacuer un bâtiment. Ces modèles sont généralement utilisés dans l'approche par objectif. Ils permettent d'analyser différents schémas d'évacuation dans un bâtiment et de déterminer les zones de congestion.

Certains de ces modèles sont intégrés dans des modèles de zones ou de champs pour déterminer le début des conditions intenable dans le bâtiment.

Les plus sophistiqués d'entre eux incluent des options intéressantes telles que l'effet psychologique de la situation d'incendie, les effets de la toxicité et d'une visibilité décroissante. Certains d'entre eux ont des interfaces graphiques montrant le mouvement des personnes durant l'évacuation.

Les paramètres d'entrée sont généralement l'occupation du bâtiment et la géométrie des locaux (sorties, escaliers, escalator, couloirs...).

Les grandeurs de sorties sont le temps d'évacuation et la localisation des points de congestion.

Il s'agit généralement de modèles statistiques.

Domaine d'application : Evacuation des personnes			
Modèle	Pays	Index	Description
AEA EGRESS	USA	112	Analyse de l'évacuation
ALLSAFE	Norvège	113	Modèle d'évacuation incluant des facteurs humains
ASERI	Allemagne	114	Mouvement de personnes en géométrie complexe, incluant des facteurs liés aux fumées et à la propagation du feu
BGRAF	USA	115	Modèle d'évacuation de secours incluant un modèle stochastique de prise de décision
EESCAPE	Australie	116	Evacuation des bâtiments à étages via cage d'escalier.
EGRESS	UK	117	Modèle d'évacuation pour géométries complexes, incluant des facteurs de visibilité.
EGRESSPRO	Australie	118	Modèles d'évacuation incluant l'activation des détecteurs et des sprinklers.
ELVAC	USA	119	Evacuation des bâtiments à étages via escalator.
EVACNET	USA	120	Détermine le schéma optimum d'évacuation
EVACS	Japon	121	Détermine le schéma optimum d'évacuation
EXIT89	USA	122	Evacuation des IGH
EXITT	USA	123	Modèle d'évacuation par la technique des noeuds et des arcs, incluant des facteurs humains.
EXODUS	UK	124	Outil d'évacuation pour le risque industriel
GRIDFLOW	UK	125	Simulation du temps d'évacuation requis pour l'évacuation complète des personnes par étage
PATHFINDER	USA	126	Modèle d'évacuation
PEDROUTE	UK	127	Modèle numérique de piétons
SEVE_P	France	128	Modèles d'évacuation interface graphique - obstructions
SIMULEX	UK	129	Modèle d'évacuation
STEPS	UK	130	Logiciel de simulation des mouvements piétons – Visualisation 3D
WAYOUT	Australie	131	Gère la partie évacuation de FireWind (23)

Cinq autres logiciels ont été répertoriés, mais aucune information à leur sujet n'est disponible : BFIRE, ERM, Magnetic Simulation, Takashi's Fluid Model et Vegas (UK).

2.4 Logiciel d'analyse de la réponse des systèmes de sécurité

Ces logiciels permettent de déterminer l'instant d'activation du système actif de sécurité incendie tels que les détecteurs de fumée ou les détecteurs thermiques (qui détectent une température anormalement élevée).

Ces modèles s'appuient sur un modèle de zone pour déterminer les températures et les concentrations des espèces détectables en couche chaude. Ils utilisent en parallèle des sub-routines pour déterminer la réponse des détecteurs (i.e. le temps de réponse). Pour résumer, il s'agit de prendre des modèles simples, de déterminer le transfert thermique ou diffusif vers le détecteur afin d'évaluer le temps d'activation.

Les paramètres d'entrée sont habituellement les caractéristiques du détecteur étudié, sa position, et le débit calorifique. Pour les plus sophistiqués, la géométrie des locaux, la position du foyer et la nature des matériaux rentrent en jeu.

La grandeur de sortie est le temps d'activation de l'appareil et pour les modèles les plus sophistiqués, on peut évaluer l'effet de l'activation du système sur le développement de l'incendie.

En outre, il est nécessaire de prêter attention au choix du modèle, car certains logiciels ne traitent en effet que des cas spécifiques comme, par exemple, les locaux plans ou les milieux non confinés.

Domaine d'application : Réponse des système de sécurité			
Modèle	Pays	Index	Description
ASCOS	USA	132	Analyse des détecteurs de fumée
DETECT-QS	USA	133	Calcul du temps de réponse de détecteur thermique sous plafond non confiné, feu arbitraire
DETECT-T2	USA	134	Calcul du temps de réponse de détecteur thermique sous plafond non confiné, feu croissant en t^2
FPETOOL	USA	135	Système d'équation pour l'ingénieur utile pour déterminer les risques potentiels du au feu ainsi que la réponse des systèmes de protection contre le risque incendie
G-JET	Norvège	136	Modèle de détection des fumées
JET	USA	137	Modèle de prédiction du temps d'activation des détecteurs et de la température des gaz dans la couche chaude
LAVENT	USA	138	Réponse du réseau de sprinklers dans les compartiments – prise en compte des rideaux et des ouvertures au plafond
PALDET	Finlande	139	Réponse des sprinklers et des détecteurs incendie. Plafond non confiné
SPARTA	UK	140	Modèle de trajectoire de gouttelettes d'eau de sprinklage. Intégré à JASMINE (59), pour évaluer l'effet des sprinklers sur les gaz chauds.
SPRINK	USA	141	Réponse des sprinklers pour les feux de grand rack
TDISX	USA	142	Réponse des sprinklers dans les entrepôts

Un autre modèle a été repéré mais aucune information à son sujet n'est disponible : HAD

2.5 Divers

Il existe des logiciels associés à l'ingénierie de la sécurité incendie qui ne rentrent dans aucune des catégories précédentes. Certains ont des options qui remplissent plusieurs champs d'application et d'autres aspects de l'incendie qui n'ont rien à voir. Ces logiciels sont dits « divers ».

Beaucoup des ces modèles sont des logiciels qui contiennent des sub-routines et par conséquent ils pourraient être listés dans les catégories précédentes. Il existe des packs logiciels issus de différents modèles dont chacun ne traite que d'un aspect de l'incendie.

Domine d'application : Divers			
Modèle	Pays	Index	Description
ALARM	UK	143	Optimisation économique des mesures réglementaire de conformité
ASKFRS	UK	144	Pack de logiciels incluant un modèle de zones
BREAK1	USA	145	Résistance au feu des vitrages
BREATH	UK	146	Diffusion des espèces toxiques dans un réseau de compartiment en ventilation forcée
Brilliant	Norvège	147	Modèle CFD combiné avec des modèles analytiques
COFRA	USA	148	Modèle d'évaluation des risques incendie
CONTAMW	USA	149	Modèle d'écoulement d'air
CRISP	UK	150	Modèle de zone avec évacuation et évaluation du risque
FIERAsystem	Canada	151	Modèle d'évaluation du risque incluant une série de corrélations
FireCad	USA	152	Applet pour CFAST
FIRECAM	Canada	153	Evaluation des risques de dommages
FIREDEMND	USA	154	Détermine les besoins en réserve d'eau pour l'extinction
FIRESYS	Nouvelle-Zélande	155	Pack de logiciels pour travailler avec la réglementation par objectif
FIREX	Allemagne	156	Modèle "une zone" corrélé à de relations empiriques
FIVE	USA	157	Evaluation de la vulnérabilité au feu
FRAME	Belgique	158	Modèle d'évaluation des risques incendie
FREM	Australie	159	Modèle d'évaluation des risques incendie
FriskMD	USA	160	Modèle d'analyse de risque basé sur FireMD (19)
HAZARD I	USA	161	Modèle de zones avec extension pour l'évacuation
JOSEFINE	UK	162	Interface logicielle regroupant les données de modèle de zone et CFD, d'évacuation et de simulation de risque.
MFIRE	USA	163	Système de ventilation dans les mines
RadPro	Australie	164	Modèle de rayonnement
Risiko	Suisse	165	Modèle d'évaluation du risque
RISK-PRIX	Canada	166	Risque attendu pour les personnes et les biens en situation d'incendie.
RiskPro	Australie	167	Modèle de comparaison des dangers
SMACS	USA	168	Mouvement de fumée dans les systèmes d'air conditionné.
SPREAD	USA	169	Prédit le débit de pyrolyse et la propagation du feu le long d'un mur
ToxFED	UK	170	Calcul des concentrations effectives (FED Fractional Effective Dose) des espèces dans les couches chaudes.
UFSG	USA	171	Prédit la propagation verticale des flammes sur les matériaux carbonisant ou non
WALLEX	Canada	172	Calcul du transfert thermique entre les panaches de gaz

Un autre modèle a été repéré mais non répertorié faute d'information a son sujet : DOW INDICES (USA)

2.6 Logiciels en libre accès

Parmi tous ces logiciels, certains sont en libre accès via un téléchargement par internet. La liste ci-dessous donne le nom de ces logiciels et les sites Internet de référence sur lesquels les télécharger :

Logiciel en libre accès			
Logiciel	Champ d'application	Index	Disponible sur :
DIFISEK-CaPaFi	Modèle Thermique de feu – Simplifié	1	www.sections.arcelor.com
DIFISEK-EN 1991-1-2 Annexe A	Modèle Thermique de feu – Simplifié	2	www.sections.arcelor.com
DIFISEK-TEFINAF	Modèle Thermique de feu – Simplifié	3	www.sections.arcelor.com
ASET/ASET-B	Modèle de Zones	5	www.fire.nist.gov
ASMET	Modèle de Zones	6	www.fire.nist.gov
CCFM/Vents	Modèle de Zones	9	www.fire.nist.gov
FAST/CFAST	Modèle de Zones	16	www.fire.nist.gov
FIRST	Modèle de Zones	26	www.fire.nist.gov
OZONE	Modèle de Zones	40	www.ulg.ac.be www.sections.arcelor.com
ALOFT-FT	Modèle de Champs - CFD	53	www.fire.nist.gov
FDS	Modèle de Champs - CFD	55	www.fire.nist.gov
SmokeView	Modèle de Champs - CFD	66	www.fire.nist.gov
AFCB	Résistance au feu des structures – Simplifié	73	www.sections.arcelor.com
AFCC	Résistance au feu des structures – Simplifié	74	www.sections.arcelor.com
ELEFIR	Résistance au feu des structures – Simplifié	77	www.ulg.ac.be
H-Fire	Résistance au feu des structures – Simplifié	78	www.stahlbau.uni-hannover.de
POTFIRE	Résistance au feu des structures – Simplifié	81	www.cticm.com
ELVAC	Evacuation	119	www.fire.nist.gov
EVACNET	Evacuation	120	http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet
ASCOS	Réponse du SI	132	www.fire.nist.gov
DETECT-QS	Réponse du SI	133	www.fire.nist.gov
DETECT-T2	Réponse du SI	134	www.fire.nist.gov
FPETOOL	Réponse du SI	135	www.fire.nist.gov
JET	Réponse du SI	137	www.fire.nist.gov
LAVENT	Réponse du SI	138	www.fire.nist.gov
BREAK1	Divers	145	www.fire.nist.gov
FIREDEMND	Divers	154	www.fire.nist.gov

3 ASPECTS A CONSIDERER

Les principaux aspects à considérer avant l'utilisation d'un logiciel de modélisation d'incendie sont :

- La méthode de calcul – i.e. les modèles mathématiques et physiques utilisés
- La notice d'utilisateur du logiciel
- L'ergonomie

3.1 *La méthode de calcul – modèles mathématiques et physiques utilisés*

L'aspect le plus important dans la méthode de calcul sont les formules mathématiques utilisées par le logiciel et sur lesquelles le logiciel s'appuie. Ces formules reposent normalement sur les lois de la physique et de la chimie ou sur des données expérimentales. La confiance que l'on peut accorder à un logiciel dépend fortement de la précision et de la véracité des formules utilisées.

Il est impossible de prendre en compte toutes les variables qui entrent en jeu dans un problème d'incendie. Il est nécessaire de faire un certain nombre d'hypothèses. Les hypothèses inhérentes aux formules utilisées dans le logiciel sont clairement un aspect à considérer pour évaluer la validité d'un modèle.

Les formules utilisées ainsi que les hypothèses limitent la polyvalence d'un logiciel. Les domaines de validité ne sont pas seulement réduits par ces concepts. D'autres concepts tels que les dimensions d'un compartiment ou la complexité d'un bâtiment peuvent aussi constituer des limitations à l'utilisation d'un logiciel. Ces restrictions sont un bon indicateur pour savoir si un logiciel est adapté à un cas d'étude.

3.2 Documents associés à un logiciel

Quand on commence à utiliser un logiciel, il est très important d'avoir des informations claires à son sujet. Les documents les plus importants sont le manuel de l'utilisateur, le manuel technique et, surtout, des exemples de publications et de validations concernant le logiciel.

3.3 Ergonomie

Cet aspect n'a pas de lien avec la validité d'un logiciel mais il a son importance quand on l'utilise. Une bonne interface graphique permet de définir les paramètres d'entrée de manière simple en évitant les erreurs et un éventuel décalage ; la présentation des résultats de calcul et de bons graphiques, voire des représentations 3D, fournit une meilleure vue d'ensemble du problème considéré. Ces trois concepts fondent l'ergonomie d'un logiciel et permettent souvent de réduire les erreurs d'interprétation et la durée du post-processing.

4 LOGICIELS ETUDIÉS

Tout au long du projet DIFISEK, de nombreuses données à propos des logiciels de modélisation d'incendie ont été collectées. De par le grand nombre de logiciels repérés, nous avons recentré notre étude sur l'analyse de quatorze d'entre eux. Les informations récoltées ont permis une analyse en profondeur de ces logiciels (cf. le 3^{ème} point) et nous les avons présentées au format texte dans l'Annexe I. De plus, une base de donnée a été créée pour résumer toutes ces informations. Les autres logiciels y apparaissent avec des informations générales à leur propos. Cette base de donnée est disponible sur les sites partenaires de DIFISEK.

4.1 Information concernant chaque logiciel au format texte

- Identification du logiciel (information générale) : Nom, Version, Année, Domaine d'Application, Pays, Auteur(s), Organisme(s), Matériel Requis, Langage Informatique, Taille, Disponible sur, Contact et, enfin, Description. .
- Aspects analysés:
 - Méthode de calcul : formule utilisée, hypothèses de calcul et restrictions
 - Documentation : manuel de l'utilisateur, manuel technique et publications et validations
 - Ergonomie : interface, présentations de données d'entrée/sortie et graphismes.
- Conclusions

4.2 Quatorze logiciels analysés en profondeur

- Modèle thermique d'incendie (4) :
 - Modèles simplifiés (1) : DIFISEK-EN 1991-1-2 Annexe A

- Modèles avancés (3) : FAST/CFAST et OZONE (Modèles de Zone) et FDS (Modèle CFD)
- Modèles de résistance au feu des structures (7) :
 - Modèles simplifiés (5) : AFCB, AFCC, Elefir, H-Fire et Potfire
 - Modèles avancés (2) : Abaqus et BoFire
- Modèles d'évacuation (1): Evacnet4
- Réponse du Système de Sécurité Incendie (2): Detact-Qs et Jet

Voir l'annexe I et la base de données.

5 ANNEXE I : LOGICIELS

5.1 *DIFISEK-EN 1991-1-2 Annexe A*

5.1.1 *Information Générale (Index 2)*

- Nom : Difisek-EN 1991-1-2 Annexe A
- Version : 1
- Année : 2004
- Domaine d'Application : Modèle thermique d'incendie - Simplifié
- Pays : Luxembourg
- Auteur(s) : L.G. Cajot; M. Haller
- Organisme(s) : **Arcelor LCS Research Centre**
- Langue : Anglais
- Matériel requis : Windows
- Taille : 2.26 MB
- Prix : Gratuit
- Disponible sur : www.sections.arcelor.com

Description :

Calcul des courbes paramétriques température-temps des éléments en acier (protégés ou non) dans un compartiment à partir d'une courbe de température-temps dans les gaz chauds basée sur l'EN 1991-1-2 Annexe A et EN 1993-1-2.

5.1.2 *Aspects considérés*

Méthode de calcul :

- Formule utilisée : Voir EN 1991-1-2 Annexe A et EN 1993-1-2
Hypothèses : On fait l'hypothèse que la charge incendie brûle dans son intégralité. Si la densité de charge incendie est spécifiée sans considération spéciale concernant la combustion, alors cette approche doit être limitée au feu de mobilier cellulosique dans les compartiments.
- Limitations : Les courbes température-temps utilisées sont valides pour les compartiments dont la surface est inférieure à 500m², sans ouverture dans le toit et d'une hauteur maximum de 4m.

Documentation :

Voir EN 1991-1-2 Annexe A et EN 1993-1-2

Ergonomie :

- Interface: Windows, Excel
- Paramètres entrée/sortie donnés en format Excel.
- Graphique : Excel Graphique

5.1.3 *Conclusions*

- Méthode de calcul fiable
- Documentation : EN 1991-1-2 Annexe A et EN 1993-1-2
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis : bas

5.2 FAST/CFAST

5.2.1 Identification du logiciel (index 16)

- Nom : CFAST
- Version : CFAST 6.0.10
- Année : 2007
- Domaine d'Application : Modèle de Zone
- Pays : US
- Auteur(s) : Walter W. Jones
- Organisme(s) : NIST – National Institute of Standards et Technology
- Matériel requis : 386 ou PC plus récent; 4 MB de mémoire vive; VGA – plus récent que 1995 OK
- Langage : FORTRAN/C
- Taille : CFAST 5 MB
- Disponible sur : www.fast.nist.gov or www.nfpa.org
- Contact : www.fast.nist.gov ou en direct avec Walter W. Jones by e-mail wwj@nist.gov

Description :

Le modèle CFAST fournit à l'ingénieur une estimation du danger dû au feu dans des structures en compartiment. Les principales fonctions de CFAST permettent le calcul de :

- La production d'enthalpie et de masse (énergie et gaz issus de la combustion) par un ou plusieurs objets dans un local, basée sur des mesures expérimentales à petites et grandes échelles.
- La flottabilité et le transport de cette énergie et de cette masse au travers d'une série de locaux spécifiques et de passages (porte, fenêtres, conduits)
- Les températures résultantes, la visibilité, la concentration des espèces après avoir pris en compte le transfert thermique et la diffusion des espèces dans l'air.

CFAST est un modèle de zones utilisé pour calculer l'évolution de la répartition des fumées, des gaz chauds et de la chaleur dans tout le bâtiment durant l'incendie. La version 3.1.6 permet de modéliser jusqu'à 30 compartiments, un système de conduits et de ventilation pour chaque compartiment, de 31 feux à un simple objet en feu, des feux multiples, des foyers multiples, sprinklers, détecteurs et enfin les dix espèces les plus importantes d'un point de vue de la toxicité (et les seuils mortels). La géométrie tient compte des relations surface/hauteur variable, de l'inflammation de plusieurs objet tels que du mobilier, de bases de données sur la pyrolyse et les propriétés thermophysiques des matériaux, des murs multicouches, de la propagation par les ouvertures, le vent, l'effet d'empilement, les fuites dans le bâtiment et les écoulements d'air au travers des ouvertures dans le sol et dans le plafond.

5.2.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées : CFAST est basé sur la résolution d'une série d'équations qui prédisent l'évolution des variables d'états (pression, température et concentration des espèces). Cette série d'équations est issue des principes de conservation de l'énergie et de la masse ainsi que de la loi des gaz parfaits. Elles ne dépendent que du temps et sont résolues pas à pas sur de petits incréments de temps. Les erreurs qui pourraient survenir ne peuvent pas venir de la résolution des équations mais viennent nécessairement des équations elles-mêmes, qui sont issues d'hypothèses simplificatrices.
- Hypothèses: L'hypothèse basique des modèles de zones est que chaque local peut être divisé en un petit nombre de volumes de contrôle (1, 2 voire plus par canton) dans chacun desquels les variables d'états peuvent être considérées uniformes (constantes sur le volume, variables dans le temps). Avec CFAST, tous les locaux comportent deux zones, excepté le local en feu qui dispose de deux zones supplémentaires pour le panache et l'ouverture en plafond. Chacune de ces zones est couplée à ses voisines avec lesquelles elles échangent de l'énergie et des espèces chimiques. Pour simuler le développement du feu, le logiciel nécessite comme paramètre d'entrée l'évolution du débit calorifique et du débit de pyrolyse des matériaux susceptibles de brûler. Une analyse sur les durées

avant évanouissement et décès est faite local par local sur la toxicité, sur la température des gaz et éventuellement sur les flux thermiques.

- Limitations : Le modèle CFAST ne gère pas le développement du feu. De plus, il n'y a pas de possibilité de coupler les actions de la température et de la toxicité sur les personnes.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur :
Manuel de l'utilisateur de FAST : Engineering tools for estimating fire growth and smoke transport NIST-SP-921; 200 p. March 2000.
Peacock, R. D. ; Reneke, P. A.; Jones, W. W.; Bukowski, R. W.; Forney, G. P.
Disponible sur : www.fire.nist.gov
Manuel de l'utilisateur de CFAST Version 1.6.
NISTIR-4985; 106 p. December 1992.
Portier, R. W. ; Reneke, P. A. ; Jones, W. W. ; Peacock, R. D.
Disponible sur : www.fire.nist.gov
- Manuel Technique :
Technical reference for CFAST : an engineering tool for estimating fire and smoke transport. NIST TN 1431; 190 p. March 200.
Jones, W. W. ; Forney, G. P. ; Peacock, R. D. ; Reneke, P. A.
Disponible sur : www.fire.nist.gov
- Publications et exemples de validations :
"A review of four compartment fires with four compartment fire models", Deal, S. Fire safety Developments and Testing, Proceedings of the annual meeting of the Fire Retardant Chemicals Association. October 21-24, 1990, Ponte Verde Beach, Florida, 33-51.
"Verification of a model of fire and smoke transport", Peacock, R. D.; Jones, W. W.; Bukowsky, R. W. Fire Safety Journal., 21 89-129 (1993).
"The accuracy of computer fire models: some comparisons with experimental data from Australia", Duong, D. Q. Fire Safety Journal 1990, 16(6), 415-431.
"Comparison of fire model predictions with experiments conducted in a hangar with a 15 m ceiling", Davis, W. D.; Notarianni, K. A.; McGrattan, K. B. NIST, NISTIR 5927 (1996).

Ergonomie :

- Interface : Windows
- Présentation des données entrée/sortie : interface graphique.
- Graphique : possibilité de générer des graphiques.

5.2.3 Conclusions

- Méthode de calcul fiable
- Documentation très détaillée
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis : moyen

5.3 OZONE

5.3.1 Identification du logiciel (index40)

- Nom : OZONE
- Version : V2.2.2
- Année : 2002
- Domaine d'Application : Modèle de zone
- Pays : Belgique
- Auteur(s) : J. F. Cadorin et J. M. Franssen de l'ULG et L. G. Cajot; M. Haller et J. B. Schleich d'Arcelor

- Organisme(s) : University of Liege, Inst. de Mécanique et Génie Civil, 1, Chemin des Chevreuils, 4000 Liege 1, Belgique **et Arcelor LCS Centre de Recherche.**
- Matériel requis : Windows based PC.
- Computer Langue : FORTRAN – Visual Basic
- Taille : 5 MB
- Disponible sur: www.ulg.ac.be ; www.sections.arcelor.com
- Contact: www.ulg.ac.be ou Jean Marc Franssen (jm.franssen@ulg.ac.be) ou J. F. Cadorin (jf.cadorin@ulg.ac.be)

Description :

Le logiciel Ozone V2 a été développé pour aider les ingénieurs à concevoir des éléments de structure soumis au feu de compartiment. Ce logiciel est basé sur de nombreux développements récents relatifs à la modélisation du feu de compartiment d'une part, et à l'effet des feux localisés sur les structures d'autre part. Le logiciel permet de modéliser un simple feu de compartiment en combinant un modèle « deux zones » avec un modèle « une zone ». Il prend aussi en compte l'effet de foyer localisé grâce à la méthode Hasemi. Par conséquent, le logiciel est prévu pour décrire au mieux toutes les phases du développement du feu dans un compartiment. Le logiciel permet également de calculer la température dans une section transversale d'un élément de structure soumis au feu de compartiment et, enfin, il permet d'évaluer la résistance d'éléments simples en acier (selon l'EC3 ENV 1993-1-2). Il a été développé dans le cadre de deux programmes de recherche européens : "Competitive Steel Buildings through Natural fire safety Concept" and "Natural Fire Safety Concepts – Full Scale Test, Implementation in the Eurocodes and Development of an User Friendly design tool". Dans Ozone, de nombreuses améliorations du modèle de zones ont été effectuées : le schéma numérique utilisé pour le transfert thermique dans les murs est un code éléments finis implicite et deux modèles de combustion ont été développés pour couvrir les différentes situations d'utilisation du code.

5.3.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées : Le modèle deux zones comporte 11 inconnues. Ces inconnues sont liées par six équations de proportionnalité (loi physico-chimiques) et quatre équations différentielles (conservation de la masse et de l'énergie). L'équation de conservation de la masse est un bilan sur les débits massiques entrant et sortant dans les différents volumes de contrôles (zones). Les gaz issus de la combustion apparaissent sous forme de terme source dans le bilan sur la zone chaude (i.e. comme s'il s'agissait d'un débit entrant). De même que pour la masse, la conservation de l'énergie (qui inclut le rayonnement et la convection sur les parois et vers l'extérieur) fournit deux autres équations différentielles. En ce qui concerne le modèle « une zone », le nombre de variables est réduit à six, le nombre de contraintes est réduit à quatre, et le nombre d'équations différentielles à deux. Ozone inclut un modèle de partition et deux modèles de combustion.
- Hypothèses : L'hypothèse principale dans les modèles de zones est que le compartiment est séparé en zones dans lesquelles la température est homogène tout au long de l'incendie. Dans les modèles « une zone », la température est considérée homogène dans tout le compartiment. Ce type de modèle n'est valable qu'en cas de feu pleinement développé, contrairement au modèle « deux zones », qui est valable en cas de feu localisé. Dans ce dernier modèle, il y a une couche chaude au niveau du plafond et une couche froide au sol.
- Limitations: Ozone ne comprend pas de modèle de pyrolyse. Par contre il dispose de deux modèles de combustion (flammes extérieures et modèle de durée de feu étendue - combustion limitée par l'aération) qui modifient l'évolution de la courbe de débit calorifique (RHR, Rate of Heat Release – le débit calorifique est défini par l'utilisateur) en fonction du bilan de masse sur l'oxygène.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur:
 "The design Fire Tool Ozone V2.0 – Theoretical Description and Validation On Experimental Fire Tests"
 Rapport interne SPEC/2001_01 University de Liege, Belgique, June 2001.
 J. F. Cadorin; J. M. Franssen; D. Pintea.

- Disponible sur : www.ulg.ac.be
- Manuel technique : inclus dans le manuel de l'utilisateur.
- Publications et exemples de validations:
 - “Competitive steel buildings through natural fire safety concepts”
Part 2: Natural fire models - The one zone model OZone, Final report
CEC Agreement 7210-SA/125/126/213/214/323/423/522/623/839/937.
Profil ARBED, March 1999.
Disponible sur : ecsc-steel@cec.eu.int
“Natural Fire Safety Concepts- Full Scale Test, Implementation in the Eurocodes and Development of an User Friendly design tool”
Part 2: Natural fire models - The one zone model OZone, Final report
CEC Agreement 7210-PA/PB/PC/PE/PF/PR-060.
Draft final report, December 2000.
Disponible sur : ecsc-steel@cec.eu.int
“On the application field of Ozone V2”
Rapport interne N°M&S/2002-003 University of Liege, Belgique, 2002.
J. F. Cadorin
“Compartment fire models for structural engineering”
Doctoral thesis of J. F. Cadorin University of Liege.
J. F. Cadorin
Disponible sur: www.ulg.ac.be

Pour plus d'informations, envoyez vos mails aux différents contacts.

Ergonomie :

- Interface: Visual Basic
- Présentation des données entrée/sortie dans un fichier texte.
- Graphique: Génère des graphiques

5.3.3 *Conclusions:*

- Méthode de calcul Fiable
- Documents détaillés
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis: Moyen

5.4 *FDS - Fire Dynamics Simulator & Smokeview*

5.4.1 *Identification du logiciel (index 55 & 66)*

- Nom: FDS – Fire Dynamics Simulator / Smokeview
- Version: FDS Version 5.2 / Smokeview Version 5
- Année: 2008
- Domaine d'Application: Field model (CFD)
- Pays: U.S.A
- Auteur(s): FDS - Kevin McGrattan, Glenn Forney. / Smokeview – Glenn Forney
- Organisme(s): NIST – National Institute of Standards and Technology
- Matériel requis: UNIX or PC of PII 450 or better.
- Langage informatique: FORTRAN 90
- Taille: 5.48 MB + 24 MB pour les exemples et la documentation
- Disponible sur: www.fire.nist.gov
- Contact : www.fire.nist.gov ou contact direct avec le développeur Kevin McGrattan
kevin.mcgrattan@nist.com

Description:

Fire Dynamics Simulator (FDS) est un code CFD qui modélise les écoulements typiques des gaz en cas d'incendie. Le logiciel résout numériquement une forme simplifiée de l'équation de Navier-Stokes appropriée aux écoulements lents régis par les forces de convection naturelle. Il prend soin de représenter au mieux le transport des fumées et de la chaleur. FDS a été développé pour résoudre des problèmes pratiques de l'ingénierie de la sécurité incendie et, parallèlement, pour fournir un outil pour la recherche fondamentale en dynamique du feu et en combustion.

Smokeview est un logiciel de visualisation 3D qui a été développé pour présenter les résultats de simulation FDS. Smokeview permet de visualiser notamment les écoulements de particules, des iso-courbes en 2D ou des iso-surfaces en 3D, des champs de vecteur vitesse.

5.4.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées : Une approximation sur la vitesse des écoulements à faible nombre de Mach est utilisée dans ce modèle. Cette approximation implique un filtrage des ondes acoustiques (petites différences de pression) alors qu'il permet de grandes variations de température et de masse volumique. (Cette approximation correspond bien aux situations d'incendie mais pas à l'explosion). Elle permet ainsi de simplifier les équations en une équation de Poisson. La résolution peut soit s'effectuer par DNS (Direct Numerical Simulation), dans laquelle les termes dissipatifs sont résolus directement, ou alors par LES (Large Eddy Simulation - Simulation des Tourbillons Macroscopiques), dans laquelle les tourbillons de grandes échelles sont calculés directement alors que les phénomènes dissipatifs de petites échelles sont modélisés. Le choix entre la LES et la DNS dépend principalement des objectifs de la simulation et du niveau de précision voulu. La DNS permet de résoudre les problèmes locaux de diffusion du combustible et de l'oxygène qui sont soumis à une équation chimique globale. Pour la LES - qui a l'avantage de se satisfaire de maillages plus grossiers - ces phénomènes de diffusion ne sont pas résolus et un modèle de combustion basé sur la fraction de mélange est utilisé. (par exemple, l'étude d'une flamme se fera par DNS alors que l'étude d'un feu de compartiment nécessitera une LES)
- Hypothèses : Les équations d'écoulement à faible nombre de Mach sont résolues numériquement divisant le domaine où se situe le feu à simuler en un grand nombre de mailles parallélépipédiques. A l'intérieur de chaque maille, la vitesse des gaz, la température, etc., sont supposées être uniformes et ne dépendre que du temps. La précision avec laquelle le feu peut-être simulé dépend du nombre de mailles que l'on définit en entrée.
- Limitations : Les calculs sont menés sur un domaine qui doit être une combinaison de parallélépipèdes, comportant chacun un maillage cartésien. Les domaines non-rectangulaires peuvent difficilement être modélisés. FDS ne dispose pas de pré-processeur, un fichier texte d'entrée est nécessaire (peu ergonomique).

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur :
"Fire Dynamics Simulator (Version 5) – User's Guide"
McGrattan K. B., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. And Prasad K.
Disponible sur: www.fire.nist.gov
"User's Guide for Smokeview Version 5 – A Tool for Visualising Fire Dynamics Simulation Data"
Forney G. P. and McGrattan K. B.
Disponible sur: www.fire.nist.gov
- Manuels techniques :
"Fire Dynamics Simulator (Version 5) – Technical reference Guide"
McGrattan K. B., Baum H. R., Rehm R. G., Hamins A., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. and Prasad K.
Disponible sur: fire.nist.gov/fds/
Publications et exemples disponibles sur fire.nist.gov/fds/

Ergonomie :

- Interface: FDS MS-DOS / Smokeview – Windows Open GL view
- Présentation des données entrée/sortie : Avec le logiciel Smokeview
- Graphique: Avec le logiciel Smokeview.

5.4.3 Conclusions

- Méthode de calcul fiable
- Documentation très détaillée
- FDS n'est pas ergonomique
- Smokeview est ergonomique
- Niveau de connaissance requis: élevé à très élevé

5.5 AFCB (Composite Beam Fire Design – Modèle de poutres mixtes soumises au feu)

5.5.1 Identification du logiciel (index73)

- Nom: AFCB (Composite Beam Fire Design)
- Version: **3.07**
- Année: **2003**
- Domaine d'Application : Modèle de résistance au feu
- Pays: Luxembourg
- Auteur(s): Henri Colbach
- Organisme(s): **Arcelor LCS research centre**
- Matériel requis: Windows 95/98/2000/NT, 100 Mhz, 32 MB RAM, 6x CD-ROM drive.
- Taille: 3 MB
- Disponible sur: Le logiciel est en accès libre sur www.sections.arcelor.com.
- Contact :
Arcelor LCS research centre
 66, rue de Luxembourg
 L-4221 Esch-sur-Alzette
 Téléphone (+352) 5313-3007
 Fax (+352) 5313-3095
 E-mail: europofil.dsm@profilarbed.lu
 Internet: www.sections.arcelor.com

Description :

Le programme AFCB calcule les moments fléchissants maximum des poutres mixtes à la température du local selon la méthode de l'EUROCODE 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) et pour les feux ISO de classe R30, R60, R90, R120 et R180 selon l'EUROCODE 4 Part 1.2 (ENV 1994-1-2).

Le logiciel a l'architecture suivante :

- Données d'entrée:
 - Projet: information générale à propos du projet.
 - Section: il y a trois manière de définir le profilé :
 - a) Taper le nom complet du profilé en majuscules (ex : HE 300 A)
 - b) Sélectionner le nom d'une série de profilé en donnant le nom de cette série (IPE, HE, HL, HD, HP, W, UB ou UC), puis sélectionner le profilé dans la liste.
 - c) Sélectionner le profilé directement dans la liste.
 - Dalle : Bien que le programme ne soit pas fait pour ce genre de calcul, il nécessite des informations sur la dalle pour déterminer sa participation dans la résistance de la poutre et les réductions à prendre en compte en cas d'incendie.

- Armatures : l'utilisateur doit définir les armatures dans le béton entre les semelles du profilé et les armatures dans la dalle.
 - Matériaux : Définit les propriétés mécaniques de chaque matériau : limite élastique dans le profilé en acier, résistance caractéristique du béton mesuré sur éprouvette cylindrique (dalle et enrobage du profilé) et la limite élastique des armatures dans le profilé et des maillages dans la dalle.
 - Facteur de sécurité des matériaux : L'utilisateur peut choisir les facteurs à appliquer à la résistance de chaque matériau pour les deux cas : charge de service et charge incendie.
 - Objectif : L'utilisateur peut choisir parmi trois types de calculs :
 - a) Calcul de la résistance en section: Détermine les valeurs de la résistance plastique d'une section donnée.
 - b) Dimensionnement sous différentes charges : L'utilisateur peut définir lui-même ses charges. La poutre sera d'abord testée à froid. Si la résistance est insuffisante, une modification sur la section sera demandée. Si la résistance est suffisante à froid, le calcul en situation d'incendie est effectué. Si dans ce deuxième cas, la section est insuffisante, le logiciel va essayer d'autres combinaisons d'armatures afin d'en trouver une qui conviendra. La combinaison d'armatures est indiquée dans le fichier « rebarb.reb ». L'utilisateur peut le modifier.
 - c) Dimensionnement pour une résistance en section minimale donnée : similaire au b). La principale différence est que dans ce cas, les valeurs de résistance voulues dans la section ne sont pas calculées en utilisant les charges mais doivent être introduites directement. A n'utiliser que si les moments résistants peuvent être calculés à la main ou avec un autre programme.
- Résultats : le logiciel peut calculer:
- Moment fléchissant positif maximum M^+
 - Moment fléchissant négatif maximum, M^-
 - Cisaillement maximum
 - Pour des calculs de type b) et c), le logiciel calcule le taux de chargement et les renforts (s'ils sont prévus)
 - Détails : Le calcul complet en condition de service et pour un feu ISO donné est rappelé dans ce fichier. L'utilisateur peut trouver toutes les données d'entrée concernant le bord supérieur de la dalle béton. De plus, ce fichier texte contient aussi toutes les valeurs réduites des moments positif et négatif.
 - Graphique : Selon le type de calcul, différents graphes peuvent être obtenus : dessin de la section, la courbe du moment et des graphes pour le calcul de la résistance en section.

5.5.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées: La méthode de calcul est indiquée dans l'Eurocode 4 Parties 1.1 et 1.2.
- Hypothèses:
 - Ce programme traite des poutres à simple appui ou appui continu.
 - L'annexe H of ENV 1994-1-1 n'est pas appliquée.
 - Les renforts indiqués pour les armatures dans le profilé
- Limitations:
 - La vérification sur les forces de cisaillement n'est pas effectuée dans le programme. Cela doit être fait séparément.
 - Seules les sections ouvertes sont propices au calcul.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur : inclus dans la rubrique aide du logiciel.
- Manuels techniques: Eurocode 4 Parties 1.1 et 1.2.
- Disponible sur : Le logiciel est en libre accès sur www.sections.arcelor.com
- Publications et exemples de validations: le logiciel est validé ; il suit la méthode de l'Eurocode 4.

Ergonomie :

- Interface: Windows
- Données d'entrée/sortie : L'utilisateur peut imprimer les données de sortie sous forme résumée ou sous forme exhaustive. Dans cette dernière forme, toutes les données d'entrée et de sortie (résultats sur les moments et cisaillement maximum et sur les moments résistants en section à froid et à chaud) sont imprimés
- Graphique: Le logiciel dessine la section et trace les courbes des moments résistants pour les moments positifs et négatifs à froid et à chaud.

5.5.3 *Conclusions*

- Méthode de calcul Fiable
- Documentation très détaillée
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis : Moyen

5.6 *AFCC (Composite Column Fire Design – poteaux mixtes)*

5.6.1 *Identification du logiciel (index74)*

- Nom : AFCC (Composite Column Fire Design)
- Version : 3.05
- Année : 2003
- Domaine d'Application : Modèle de résistance au feu des structures
- Pays : Luxembourg
- Auteur(s) : Henri Colbach
- Organisme(s) : Arcelor LCS research centre
- Matériel requis : Windows 95/98/2000/NT, 100 Mhz, 32 MB RAM, 6x CD-ROM drive.
- Taille : 2,5 MB
- Disponible sur : Le logiciel est en libre accès sur www.sections.arcelor.com.
- Contact information :
Arcelor LCS research centre
66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette
Téléphone (+352) 5313-3007
Fax (+352) 5313-3095
E-mail : europrofil.dsm@profilarbed.lu
Internet : www.sections.arcelor.com

Description :

Le logiciel AFCC permet de calculer les charge ultimes des poteaux mixtes selon l'Eurocode 4 Partie 1.1 (ENV 1994-1-1) et pour des feux ISO de classes R30, R60, R90 and R120, selon l'Eurocode 4 Part 1.2 (ENV 1994-1-2).

Le logiciel a l'architecture suivante :

- Données d'entrée :
 - Projet : Information générale concernant le projet.
 - Section : Il y a trois manières différentes de définir un profilé :
 - a) Taper le nom complet du profil en majuscules (ex : HE 300 A)
 - b) Sélectionner le nom d'une série de profilés en donnant le nom de cette série (IPE, HE, HL, HD, HP, W, UB ou UC), puis sélectionner le profilé dans la liste.
 - c) Sélectionner le profilé directement dans la liste.

- Barre d'armature : L'utilisateur doit définir leur diamètre et leur position.
 - Matériaux : Définir les propriétés mécaniques de chaque matériau : limite élastique dans le profilé en acier, résistance caractéristique du béton mesuré sur éprouvette cylindrique (dalle et enrobage du profilé) et la limite élastique des armature dans le profil et des maillages dans la dalle.
 - Facteur de sécurité des matériaux : L'utilisateur peut choisir les facteurs à appliquer à la résistance de chaque matériau pour les deux cas : charge de service et charge incendie
 - Longueur de flambement : l'utilisateur doit définir les longueurs de flambement pour l'axe fort et l'axe faible des poteaux mixtes partiellement remplis de béton (AF column) en condition de chargement normal et d'incendie.
 - Excentricité : excentricités de la charge dans l'axe faible et dans l'axe fort du profilé.
- Résultats : Dans cinq configurations - température du local en condition normale d'exploitation, températures atteintes à 30, 60, 90 et 120 min (R30 à R120), le logiciel calcule les charges suivantes :
- Charge axial maximum provoquant le flambement suivant l'axe faible (1^{er} poteau)
 - Charge axiale maximum provoquant le flambement suivant l'axe fort (2^{ème} poteau)
 - Charge excentrée maximum suivant l'axe faible (3^{ème} poteau)
 - Charge excentrée maximum suivant l'axe fort (4^{ème} poteau)
 - Charge excentrée maximum suivant les deux axes du poteau (5^{ème} poteau)
 - Détails : Les détails complets du calcul (longueur de flambement, charge plastique, charge critique, élancement réduit, coefficient de flambement) en exploitation normale et pour les classements au feu (R30 à R120) y sont inscrits. Par ailleurs, la masse linéique du poteau est donnée, incluant des informations séparées sur le béton et sur les armatures.
 - Graphiques : Cette partie du logiciel montre une revue générale de la section droite que l'utilisateur a défini (données géométriques, position des armatures, ...)

5.6.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées: la méthode de calcul est celle de l'Eurocode 4 Parties 1.1 et 1.2.
- Hypothèses :
 - Ce logiciel calcule la résistance d'un poteau sous des charges de petites excentricités.
 - Ce logiciel ne travaille que sur des profilés qui comportent deux plans de symétrie et dont la section droite est constante sur la longueur.
 - L'annexe H of ENV 1994-1-1 n'est pas appliquée.
 - Le pourcentage d'armature doit respecter les règles de l'ENV 1994-1-1, 4.8.3.1(3e) et 4.8.2.5(3) et de l'ENV 1994-1-2, 4.3.6.2(2).
- Limitations :
 - Seules les section ouvertes sont propices qu calcul.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: inclus dans la rubrique aide du logiciel.
- Manuels techniques: Eurocode 4 parties 1.1 et 1.2.
- Disponible sur : Le logiciel est en libre accès sur www.sections.arcelor.com
- Publications et exemples de validation: le logiciel est validé ; il suit la méthode de l'Eurocode 4.

Ergonomie :

- Interface: Windows
- Données d'entrée/sortie : L'utilisateur peut imprimer les données de sortie sous forme résumée ou sous forme exhaustive. Sous cette dernière forme, toutes les données d'entrée et de sortie (résultats sur les moments et cisaillement maximum et sur les moments résistants en section à froid et à chaud) sont imprimés.

- Graphique: Le logiciel dessine la section.

5.6.3 Conclusions

- Méthode de calcul Fiable
- Documentation très détaillée
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis: Moyen

5.7 Elefir

5.7.1 Identification du logiciel (index77)

- Nom: Elefir
- Version : 2.1
- Année : 1998
- Domaine d'Application : Modèle de résistance au feu des structures
- Pays : Belgique
- Auteur(s) : Dan Pintea, Laurent Miévis, Gilles Gustin, Jean-Marc Franssen
- Organisme(s) : University of Liege
- Matériel requis : Windows 95 or higher.
- Taille: 8 MB
- Disponible sur : University of Liege website (<http://www.ulg.ac.be/matstruc/Download.html>)
- Contact information : Jean-Marc Franssen (jm.franssen@ulg.ac.be)

Description :

ELEFIR est un logiciel qui permet de calculer la résistance au feu d'éléments simple en acier de section en I chargés selon leurs axes forts.

- Différentes formes de profilés sont disponibles : HD, HE, HL, HP, IPE, UB, UC, W, L.
- Deux options d'exposition au feu : exposition sur trois faces ou quatre faces.
- Option de protection de la section : protection en caisson ou protection par contour.
- Les propriétés de nombreux matériaux de protection sont disponibles : Laine de roche, laine de verre, plaque de plâtre ; l'utilisateur peut lui-même définir de nouveaux matériaux de protection
- De nombreuses courbes de montée en température sont disponibles : courbes ISO, courbe de feu extérieur, courbe hydrocarbure ; de même, l'utilisateur peut définir la sienne.

Les calculs suivants peuvent être menés :

- Calcul du temps pour que l'élément arrive à sa température critique
- Température atteinte au temps critique
- Calcul de la température critique de l'élément et du temps critique pour les profilés soumis à compression, tension et fléchissement.

5.7.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées :
 - Les calculs sont basés sur l'ENV 1993-1-2 (Eurocode 3).
 - Le document d'application national Belge (NBN ENV 1993-1-2) peut aussi être utilisé.
- Hypothèses :
 - Le champ de température dans le profilé est supposé uniforme.
- Limitations :

- seules les sections ouvertes et comportant deux plans de symétrie sont propices à ce calcul
- option d'exposition à l'incendie : 3 ou 4 faces.
- Si durant le calcul les sections deviennent des sections de classe 4, le calcul s'arrête. Il ne prend pas en compte la dernière modification de l'EN 1993-1-2 qui permet de considérer que la section du profilé reste la même, qu'il soit en situation d'incendie ou en situation normale d'exploitation.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: non disponible, mais peu utile (prise en main facile)
- Manuels techniques: ENV 1993 1-2 (Eurocode 3)
- Publications et exemples de validations: non disponible

Ergonomie :

- Interface : Windows
- Données d'entrée/sortie : fichiers texte et graphiques.
- Graphique : Le logiciel trace les courbes de température.

5.7.3 Conclusions

- Méthode de calcul Fiable
- Documentation: ENV 1993-1-2 (EC3)
- Ergonomique
- Niveau de connaissance : Bas.

5.8 H-Fire

5.8.1 Informations générales (Index 78)

- Nom : H-Fire
- Version : 04.1
- Année : 2004
- Domaine d'Application: Modèle de résistance au feu - Simplifié
- Pays : Allemagne
- Auteur(s) : P.Schaumann, S.Hothan
- Organisme(s) : University of Hannover, Institute for Steel Construction
- Langue : Allemand, Anglais
- Matériel requis : Pentium PC, Microsoft Windows, Microsoft Office
- Taille : 12.6 MB
- Prix : Gratuit
- Disponible sur : University of Hannover, Institute for Steel Construction
- Contact : www.stahlbau.uni-hannover.de

Description :

Calcul des résistances mécaniques de éléments exposés au feu selon la méthode de calcul simplifié de l'EN 1994-1-2

5.8.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées: Les calculs sont réalisés selon la méthode de calcul simplifiée de l'ENV 1994-1-2 (Eurocode 4), sauf pour les dalles dont les calculs sont faits selon l'EN 1994-1-2
- Hypothèses: les mêmes que pour la méthode simplifiée
- Limitations: les mêmes que pour la méthode simplifiée

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: description succincte sur www.stahlbau.uni-hannover.de
- Manuels techniques: ENV 1994-1-2 (Eurocode 4), et EN 1994-1-2 pour les dalles
- Disponible sur : www.stahlbau.uni-hannover.de
- Publications et exemples de validations: aucune

Ergonomie :

- Interface : Windows ; Excel et Access
- Données d'entrée/sortie : Le programme présente la plupart des données d'entrée et toutes les sorties.
- Graphique : Si nécessaire, le logiciel permet de tracer certaines courbes.

5.8.3 Conclusions

- Méthode de calcul fiable
- Documentation : Très détaillée
- Ergonomie
- Niveau de connaissance requis : Moyen

5.9 Potfire (Index 81)

5.9.1 Software identification

- Nom : Potfire
- Version : 3.0
- Année : 2007
- Domaine d'Application : Modèle de résistance au feu des structures
- Pays : France
- Auteur(s) : Geneviève Fouquet, C. RENAUD, George Tabet, Bin Zhao, Julien Kruppa
- Organisme(s) : CTICM, TNO, CIDECT
- Matériel requis : Pentium 200 Mhz, W95, CD-Rom, and 24 MB RAM
- Taille : 15 MB
- Disponible sur : www.cticm.com
- Contact : www.cticm.com

Description :

Le logiciel PotFire est un logiciel d'évaluation de la stabilité au feu des poteaux non protégés en profils creux remplis de béton développé par le CTICM. Il est basé sur les règles de calculs données dans l'Annexe nationale française (Annexe PCRB) de l'EN 1994-1-2 (Eurocode 4 – Calcul des structures mixtes (acier + béton) - Partie 1.2 “ Règles générales – calcul du comportement au feu ”).

5.9.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

POTFIRE permet de déterminer la résistance des poteaux carrés ou circulaires soumis à une charge de compression centrée ou excentrée pour une durée d'exposition au feu normalisé donnée. Le modèle procède en deux étapes indépendantes : D'une part le calcul de la distribution des températures dans la section pour la durée d'exposition au feu considéré. Ces températures sont obtenues par une procédure numérique basée sur la méthode des différences finies. D'autre part la détermination de la capacité portante du poteau à partir de la résistance plastique de la section mixte pour le champ de température obtenu précédemment, corrigée par l'intermédiaire d'un coefficient pour prendre en compte le flambement des poteaux.

- Formules utilisées : L'ensemble des équations utilisées avec ce modèle pour décrire le comportement thermique, mécanique et structurel est donné dans le manuel de l'utilisateur de POTFIRE, fourni avec le logiciel.
- Hypothèses : L'utilisateur de POTFIRE doit prendre bonne note des détails de la modélisation du pied et de la tête d'un poteau simple ou des jonctions d'un poteau continu, afin de s'assurer que les charges sont appliquées de la bonne manière dans la colonne et que les transferts de charges sont maintenus en cas d'incendie.
- Limitations : La méthode de l'annexe nationale française de l'EN 1994 Partie 1.2 est limitée à un panel de poteaux (diamètres et longueurs). On peut préciser encore que la méthode s'applique uniquement aux poteaux non protégés, chargés axialement ou avec une faible excentricité de charge ($0,125 \leq \delta / b$ (ou d). ≤ 1) et exposés à l'incendie conventionnel. Certaines limites dimensionnelles doivent être respectées. Elles concernent le type de poteau, (carré ou rond), les dimensions de la section ($100 \text{ mm} \leq \text{largeur } b \text{ ou diamètre de la section transversale} \leq 610 \text{ mm}$), la longueur de flambement ($\leq 30 \times b$ ou $30 \times d$), et le pourcentage d'armatures ($\leq 6 \%$). Enfin, la méthode n'autorise pas l'analyse des poteaux pour une stabilité au feu supérieure à 120 minutes.
- .

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: inclus dans le logiciel
- Manuels techniques: Bons conseils donnés dans l'Eurocode 4, Part 1-2 et dans le CIDECT Guide de Conception 4 "Guide de conception des poteaux creux remplis de béton".
- Publications et exemples de validations: aucune

Ergonomie :

- Interface : Windows.
- Données d'entrée/sortie : toutes les données s'affichent dans une fenêtre de contrôle.
- Graphique : aucun

5.9.3 Conclusions

- Méthode de calcul fiable
- Documentation très détaillée
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis : Bas

5.10 ABAQUS

5.10.1 Information générale (Index 86)

- Nom : Abaqus
- Version : 6.8
- Année : 2007

- Domaine d'Application: Modèle de résistance au feu des structures - Avancé
- Pays : United States
- Auteur(s) : David Hibbit, Bengt Karlsson, Paul Sorensen
- Organisme(s) : Abaqus Inc.
- Langue : Anglais
- Matériel requis : Windows 2000 Professional (SP3 est fortement recommandé)
Pentium III 2 GHz ou mieux.
Compaq Visual Fortran 6.0 (Update A)
Microsoft Visual C/C++ 6.0 (12.00.8804)
- Prix : Consulter les distributeurs d'Abaqus
-
- Disponible sur : www.abaqus.com
Abaqus Inc
1080 Main Street
Pawtucket, RI 02860-4847
Tel: +1 401 727 4200
Fax: +1 401 727 4208
- Contact : www.abaqus.com

Description :

Abaqus est un ensemble d'applications qui peuvent se combiner pour l'analyse mécanique par éléments finis. Il constitue un système complet d'analyse pour l'ingénieur et un support pour la CAO.

5.10.2 *Aspects considérés*

Méthode de calcul :

- ABAQUS/Standard : fournit un grand nombre de procédures d'analyse de problèmes, allant de la simple analyse linéaire aux analyses complexes non linéaires multi étages, résolues de manière efficace et robuste. Le logiciel permet de simuler toute une variété de phénomènes physiques tels que le transfert thermique, la diffusion d'espèces et l'acoustique, en plus des problèmes de mécanique des structures.
- ABAQUS/Explicite : fournit des techniques basées sur des codes éléments finis qui permettent de simuler un large spectre de phénomènes de statique et de dynamique (spécialement les problèmes de crash et les problèmes de fortes discontinuités), de manière précise, robuste et efficace. Il ne traite pas seulement les problèmes de mécanique des structures mais peut aussi être couplé à des modèles dynamiques de dilatation thermique, d'acoustique et de couplage vibro-acoustique.
- ABAQUS/CAE : Environnement pour la modélisation des structures, comportant des modules et barres d'outils organisés de manière fonctionnelle.

Documentation :

- documents disponibles :
 - Didacticiel :
 - démarrer avec Abaqus
 - démarrer avec Abaqus/Standard: Mots clés
 - démarrer avec Abaqus/Explicit: Mots clés
 - Notes
 - Analyse :
 - Manuel de l'utilisateur d'Abaqus
 - Maillage :
 - Manuel de l'utilisateur d'Abaqus/CAE
 - Exemples :
 - Manuel d'exemple de problèmes géré par Abaqus
 - Manuel des benchmarks d'Abaqus

- Référence :
 - Manuel technique

Ergonomie :

- Interface : Windows
- Données d'entrée/sortie : Donnée d'entrées présentée dans le fichier input (*.inp) et les sorties dans le fichier (*.odb).
- Graphique : Visualisation 2D/3D du modèle et des résultats.

5.10.3 *Conclusions*

- Méthode de calcul Fiable
- Documentation: très détaillée
- Pas ergonomique
- Niveau de connaissance requis: élevé

5.11 *BoFire*

5.11.1 *Information générale (index 89)*

- Nom : BoFire
- Version : 7
- Année : 2004
- Domaine d'Application : Modèle de résistance au feu des structures
- Pays : Allemagne
- Auteur(s) : Peter Schaumann, Jens Upmeyer, Florian Kettner
- Organisme(s) : Institute for Steel Construction
- Langue : Allemand
- Matériel requis : Windows 95/98/2000/NT, 100 Mhz, 32 MB RAM
- Taille : 200 kB
- Logiciel indisponible pour le moment

Description :

BoFire est un code informatique itératif qui gère les problèmes non linéaires en régime transitoire basé sur un code par élément finis. Les propriétés thermiques et mécaniques des matériaux de l'ENV 1994-1-2 y sont implémentées. Acier, béton ou structure mixte peuvent être analysés.

5.11.2 *Aspects considérés*

Méthode de calcul :

- Formules utilisées : code informatique itératif qui gère les problèmes non linéaires en régime transitoire basé sur un code par élément finis
- Hypothèses :
 - Ce programme traite des poutres, poteaux et plancher de toutes sortes
 - Les propriétés thermomécaniques de l' ENV 1994-1-2 (1994) sont implémentées.
- Limitations :
 - Pas de structure 3D
 - Pas de cisaillement dans la section droite des éléments (Hypothèses de Bernoulli)

Documentation :

Pas de documentation disponible pour le moment

Ergonomie :

- Interface : Windows
- Les paramètres entrée/sortie sont donnés sous forme de fichier texte. L'application HaFront permet de générer le fichier d'entrée.
- Graphique : Le logiciel inclut une librairie DISLIN qui permet de tracer les iso-températures en 2D ou 3D ainsi que les diagrammes des contraintes et des déformations.

5.11.3 *Conclusions*

- Méthode de calcul fiable
- Documentation non disponible
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis: Moyen

5.12 *Evacnet4*

5.12.1 *Identification du logiciel (index 120)*

- Nom : Evacnet4
- Version : 1.4
- Année : 1998
- Domaine d'Application : Evacuation
- Pays : United States
- Auteur(s) : T.M. Kisko, R.L. Francis, C.R. Nobel
- Organisme(s) : University of Florida
- Matériel requis : Windows 95 ou plus
- Taille : moins de 1 MB
- Disponible sur : <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>
- Contact : Thomas Kisko, 352-392-1293, kisko@ise.ufl.edu

Description :

EVACNET4 est un logiciel interactif qui modélise l'évacuation du public dans les bâtiments. Le bâtiment est modélisé sous forme d'un réseau représentant les accès et prend en compte les conditions initiales au début de l'évacuation. A partir de ces informations, EVACNET4 fournit les résultats de l'évacuation optimale du bâtiment (optimale au sens de durée minimale d'évacuation)

5.12.2 *Aspects considérés*

Méthode de calcul :

- Formules utilisées : EVACNET détermine le plan d'évacuation qui permet l'évacuation la plus rapide selon un réseau donné. Il s'appuie sur un algorithme avancé capable de modéliser les flux de personnes dans un réseau. Cet algorithme a été développé pour résoudre les problèmes de programmation linéaire dans les structures en réseau.
- Hypothèses et limitations : Les formules utilisées dans le modèle de mouvements d'EVACNET nécessite quelques hypothèses. Ces hypothèses peuvent être à l'origine de certains écarts avec la réalité. Plus l'utilisateur a une connaissance précise de ces hypothèses, plus les chances d'avoir des résultats valides sont grandes :
 - EVACNET n'inclut pas de modèle de comportement des personnes. Les seules actions intégrées sont celles qui permettent d'évacuer au plus vite le bâtiment.
 - EVACNET est basé sur une vue d'ensemble : pas du point de vue du piéton, qui ne connaît pas forcément les locaux, ni les chemins que prennent les autres piétons. Cela signifie qu'en

déterminant le plan optimal d'évacuation, EVACNET est capable de tout « voir ». Dans une évacuation réelle, les individus essaient d'optimiser leur chemin indépendamment les uns des autres. L'une des principales utilisations d'EVACNET pourrait être d'exercer le public à évacuer selon les plans d'évacuation optimum et/ou de disposer d'une signalétique efficace (chemin lumineux...).

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: Oui (Disponible sur : <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>)
- Manuels techniques: Oui (Disponible sur : <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>)
- Publications et exemples de validations : Voir les validations sur : <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet>

Ergonomie :

- Interface : MS-DOS
- Données d'entrée/sortie : Le logiciel donne des informations sur les goulots et sur la position du public au temps critique.
- Graphique : aucun.

5.12.3 Conclusions

- Méthode de calcul peu fiable
- Documentation très détaillée
- Pas ergonomique
- Niveau de connaissance requis: Bas

5.13 Detact-QS

5.13.1 Identification du logiciel (index 133)

- Nom : Detact-QS
- Version : 1.3
- Année : -
- Domaine d'Application: Réponse du système de sécurité incendie
- Pays : United States
- Auteur(s) : D.D. Evans
- Organisme(s) : NIST (National Institute of Standards and Technology)
- Matériel requis : PC 286
- Taille : 64Ko
- Disponible : en accès libre sur www.fire.nist.gov
- Contact : www.fire.nist.gov

Description :

DETECT-QS est un logiciel qui permet de calculer le temps avant déclenchement des détecteurs thermiques sous plafond non confiné. Il peut être utilisé pour déterminer le temps d'activation d'un détecteur thermique qui se déclenche à partir d'une température donnée ou bien celui d'activation des têtes de sprinkler en situation d'incendie. Les paramètres d'entrée sont la hauteur entre le foyer et le plafond, la distance du détecteur à l'axe du feu, la température d'activation, le temps de réponse indexé du détecteur (RTI) et, enfin, le débit calorifique du feu. Les données de sortie sont la température des gaz sous le plafond et la température du détecteur en fonction du temps.

5.13.2 Aspects considérés

Méthode de calcul :

- Formules utilisées : DETACT-QS est un modèle empirique qui est basé sur des corrélations expérimentales sur les incendies de grandes échelles. La résolution est basée sur une série d'équations algébriques et sur l'hypothèse des états quasi-stationnaires. DETACT-QS est composé d'un algorithme qui prédit la température maximum et la vitesse des gaz dans un panache sous plafond droit et lisse, et ce, à une certaine distance du foyer. Les corrélations utilisées dans DETACT-QS ont été développées par Alpert et utilisent un RTI développé par Heskestad.
- Hypothèses : le modèle DETACT-QS induit l'hypothèse que le détecteur est localisé dans un espace relativement grand et par conséquent qu'il n'y a pas d'accumulation des gaz chauds sous le plafond.

- D'autre part, un certain nombre d'hypothèses sont faites : les vitesses de gaz prises en comptes sont les vitesses maximum observées. Comme il n'y a pas d'accumulation, le transfert thermique est uniquement du type convectif forcé (pas de rayonnement, ni convection naturelle). Les fumées ne font face qu'à un seul obstacle : le plafond qui doit être un plan horizontal.
- Limitations :
 - DETACT-QS sous-estime la température lorsque le détecteur est trop proche du feu et l'estime de mieux en mieux lorsqu'il s'en éloigne.
 - Les résultats sont meilleurs pour le détecteur à haut RTI.
 - L'utilisation de DETACT-QS ne convient pas aux espaces confinés.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: aucun
- Manuels techniques : "Evaluation of the computer fire model DETACT-QS" Morgan J. Hurley, Daniel Madrzykowski
- Disponible sur : Publications du NIST sur www.fire.nist.gov.
- Publications et exemples de validations: comparaison avec l'expérience disponible dans le Manuel Technique.

Ergonomie :

- Interface : MS-DOS
- Données d'entrée/sortie : la température des gaz sous le plafond et la température du détecteur en fonction du temps.
- Graphiques : aucun

5.13.3 *Conclusions*

- Méthode de calcul fiable
- Documentation peu détaillée
- Peu d'ergonomie
- Niveau de connaissance requis: Bas

5.14 *Jet*

5.14.1 *Identification du logiciel (index 137)*

- Nom : Jet
- Version : 1.0
- Année : 1999
- Domaine d'Application: Réponse du système de sécurité
- Pays : United States
- Auteur(s) : William D. Davis
- Organisme(s) : NIST (National Institute of Standards and Technology)
- Matériel requis : W95/98/2000. Pentium 166 MHz ou mieux. 32 MB of RAM.
- Taille : 4 MB
- Disponible sur : <http://fire.nist.gov>. Logiciel en libre accès
- Contact :
 - William D. Davis
 - National Institute of Standards and Technology
 - 100 Bureau Dr. Stop 8642
 - Gaithersburg, Md., 20899-8642
 - 301-975-6884
 - william.davis@nist.gov

Description :

JET est un modèle de feu de compartiment « deux zones » classique. Les échanges convectifs au plafond et par rayonnement servent à calculer la température du plafond en fonction du temps et de la distance à l'axe du foyer. Des corrélations sensibles à la température de la couche chaude et à son épaisseur fournissent la température au centre du panache ainsi que la température et la vitesse maximum sous le plafond en fonction de la distance à l'axe du foyer.

La géométrie du compartiment peut être représentée par une série de murs et d'écrans de cantonnement. Il faut par exemple deux murs et un écran de cantonnement (qui représente le linteau) pour représenter une porte ouverte. Les fumées peuvent s'échapper sous les écrans, soit par les exutoires soit par extraction mécanique.

Les ouvertures sont pilotables par des fusibles. L'échauffement du fusible tient compte d'un bilan d'énergie entre la chaleur apportée par convection et la chaleur dissipée par conduction dans les structures avec laquelle il est en contact.

Les applications possibles de JET sont :

- a) La détermination des temps de réponses des fusibles qui pilote les sprinklers et les ouvertures dans un compartiment limité par des murs et des écrans de cantonnement et pour un débit calorifique donné (taille et évolution du foyer).
- b) Une étude paramétrique sur le dimensionnement de la ventilation et des ouvertures pour modifier ce temps et l'adapter à la performance voulue (approche par objectif)
- c) De même pour atteindre une température donnée à un temps donné et en un point donné du plafond.
- d) De même pour la température maximum et de la vitesse maximum des fumées qui longent le plafond.

5.14.2 *Aspects considérés*

Méthode de calcul :

- Formules utilisées: cf. manuel de l'utilisateur.
- Hypothèses :
 - Le compartiment doit avoir une base rectangulaire
 - JET comprend les hypothèses habituelles du modèle de zones : homogénéité des grandeurs dans chaque couche. La température dans la couche chaude correspond à celle d'un feu se développant, alors que celle de la couche froide est calée à 20°C. L'écoulement des fumées sous le plafond est contrôlé par la puissance du feu.
 - Le feu est caractérisé par un débit calorifique, une fraction rayonnée et une surface de foyer qui dépendent du temps.
 - Les flammes ne lèchent pas le plafond et le foyer est toujours proche du centre de la pièce.
- Limitations :
 - L'impact d'un exutoire sur la vitesse et la température des fumées est négligé.
 - Basés sur des comparaisons expérimentales (disponibles dans le manuel de l'utilisateur), les résultats fournis par JET sont bons jusqu'à des hauteurs de plafond de 22 m. Il n'existe pas d'expérience qui ait été réalisée au dessus de 22 m.

Documentation :

- Manuel de l'utilisateur: "The Zone Fire Model JET: A Model for the Prediction of Detector Activation and Gas Temperature in the Presence of a Smoke Layer" National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6324 (1999).

- Manuels techniques: “The Zone Fire Model JET: A Model for the Prediction of Detector Activation and Gas Temperature in the Presence of a Smoke Layer” National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6324 (1999).
- Disponibilité : en accès libre sur <http://fire.nist.gov>. avec le logiciel.
- Publications et exemples de validation : comparaison avec expérience disponible dans le Manuel Technique

Ergonomie :

- Interface : Windows
- Données d’entrée/sortie : fichier texte
- Graphique : aucun.

5.14.3 *Conclusions*

- Méthode de calcul fiable
- Documentation très détaillée
- Ergonomique
- Niveau de connaissance requis: Moyen

REFERENCES :

- [1] Olenick S. M. And Carpenter D. J., May 2003, "An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13
- [2] Friedman R., 1992, "An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Engineering Vol. 4
- [3] Janssens M. L., 2002, "Evaluating Computer Fire Models", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13
- [4] ASTM E 1355; ASTM E 1472; ASTM E 1591; ASTM E 1895
- [5] EC3 – Eurocode 3 Part 1.2 (ENV 1993-1-2).
- [6] EC4 – Eurocode 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) and Part 1.2 (ENV 1994-1-2).
- [7] Twilt L., Hass R., Klingsch W., Edwards M. and Dutta D., 1996, "Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire", CIDECT Design Guide 4
- [8] Peacock R. D., Reneke P. A., Jones W. W., Bukowski R. W. And Forney G. P., 2000, "Manuel de l'utilisateur for Fast: Engineering Tools for Stimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST-SP-921
- [9] Portier R. W., Reneke P. A., Jones W. W and Peacock R. D, 1992, "User's Guide for Cfast Version 1.6", NISTIR-4985
- [10] Peacock R. D., Reneke P. A., Jones W. W. and Forney G. P, 2000, "Tecnical References for Cfast: An Engineering Tool for Stimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST-TON-1431
- [11] Peacock R. D., Jones W. W. and Bukowski R. W., 1993, "Verification of a model of fire and smoke transport", Fire Safety Jaournal Vol. 21"
- [12] Deal S., 1990, "A review of four compartment fires with four compartment fire models", Fire Safety Developments and Safety, Proceedings of the annual meeting of Fire Retardant Chemicals Association
- [13] Duong D. Q., 1990, "The accuracy of Computer Fire models: some comparison with experimental data from Australia", Fire safety Journal Vol. 16
- [14] Davis W. D., Notarianni K. A., and McGrattan K.B., 1996, "Comparison of fire model predictions with experiments conducted in a hangar with a 15 m ceiling", NISTIR-5927
- [15] Cadorin J. F., Franssen J. M., and Pintea D., 2001, "The design Fire Tool Ozone V2.0 – Theoretical Description and Validation On experimental Fire tests", Rapport interne SPEC/2001_01 University of Liege
- [16] Sleich J. B., Cajot L. G., Pierre M., Joyeux D., Aurtinetxe G., Unanua J., Pustorino S., Heise F. J., Salomon R., Twilt L. and Van Oerle J., 2002, "Competitive steel buildings through natural fire safety concepts" Final Report EUR 20360 EN
- [17] Cadorin J. F., 2002, " On the application field of Ozone V2", Rapport interne N° M&S/2002-003 University of Liege
- [18] Cadorin J. F., 2003, "Compartment fire models for structural engineering", Doctoral Thesis of J. F. Cadorin, University of Liege
- [19] Sleich J. B., Cajot L. G., Pierre M., Joyeux D., Moore D., Lennon T., Kruppa J., Hüller V., Hosser D., Dobbernack R., Kirchner U., Eger U., Twilt L., Van Oerle J., Kokkala M. And Hostikka S., 2002, "Natural Fire Safety Concepts – Full Scale Tests, Implementation in the Eurocodes and Development of an user friendly design tool" Final Report EUR 20580 EN
- [20] McGrattan K. B., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. And Prasad K., 2002, "Fire Dynamics Simulator (Version 3) – User's Guide", NISTIR-6784
- [21] Forney G. P. and McGrattan K. B., 2003, "User's Guide for Smokeview Version 3.1 – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data", NISTIR-6980
- [22] McGrattan K. B., Baum H. R., Hamins A., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S. And Prasad K., 2002, "Fire Dynamics Simulator (Version 3) – Technical Reference Guide", NISTIR-6783
- [23] Hurley M. J. and Madrzykowski D., 2002, "Evaluation of the computer fire model DETECT-QS", Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 4th International Conference. Proceedings
- [24] Davis W. D., 1999, "The Zone Fire model JET: A Model for the prediction of detector activation and gas temperature in presence of a smoke layer", NISTIR-6324

WEB LINKS :

www.arcelor.com
www.branz.co.nz/main.php?page=Fire%20Software
www.bre.co.uk/frs/software.jsp
www.cidect.org
www.cticm.com
www.doctorfire.com
www.euoprofil.lu
www.fire.nist.gov
www.fire.org
www.firemodelsurvey.com
www.fpe.umd.edu/department/modeling/index.html
www.framemethod.be/modeling.html
www.fseg.gre.ac.uk
www.irc.nrc-cnrc.gc.ca
www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet
www.labein.es
www.nfpa.org
www.rautaruukii.com
www.sections.arcelor.com
www.tno.nl
www.ulg.ac.be
www.uni-hannover.de