

M. HILEYAN
R. HALLER
D. GROUSET

Bertin et Cie - Les Milles

**Un prototype de système
expert pour l'aide
au diagnostic
de risque incendie**

Un prototype de système expert "VULCAIN" (Valorisation par Utilisation de Logiciels des Connaissances en Analyse Incendie) a été développé par la Société BERTIN & Cie pour aborder plus facilement et plus rationnellement les études de risques incendie dans des sites industriels complexes. Ecrit en PROLOG II, ce système expert présente trois particularités :

- il manipule **simultanément** des connaissances symboliques et numériques dans le cadre de règles de type "si ... alors",
- il gère des logiciels de simulation numérique d'évolution spatio-temporelle d'incendies,
- base de faits et base de connaissance sont structurées de façon à être totalement compatibles et extensibles, en particulier pour manipuler les connaissances symboliques utilisées dans le choix et la préparation des logiciels de simulation numérique.

Les perspectives de développement futur de ce système expert sont :

- produit de plus large diffusion pour les diagnostics systématiques,
- aide à la décision temps réel en cas d'incendie

A prototype of our expert system "VULCAIN" (Valorisation par Utilisation de Logiciels des Connaissances en Analyse Incendie) is described : it was developed by Societe BERTIN & Cie to carry out fire risk analysis within complex industrial sites in an easier and more rational manner. This expert system is written under PROLOG II and is characterized by :

- The simultaneous manipulation of symbolic and numerical knowledge within the framework of rules "If... Then".
- The monitoring of deterministic software packages to simulate spatial and time behaviour of fire scenarios.
- The specific structuration of fact data bases and knowledge data bases to insure full compatibility and extension, and to optimize symbolic data manipulation when numerical simulation are chosen.

Last future development prospects are discussed : a more large scale diffusion product for a systematic industrial use and a real time software package for specific on line decisions.

1 - INTRODUCTION

Dans le cadre de ses activités d'analyse de risques industriels, la Société BERTIN & Cie a développé depuis plusieurs années des méthodes qualitatives et quantitatives afin d'apprécier a priori le risque incendie dans des environnements industriels complexes. On citera, comme exemple récent d'application, des études de risques sur divers sites liés au cycle du combustible nucléaire (centrales à eau pressurisée et surgénératrice, sites de retraitement du combustible) (1, 2).

La caractéristique essentielle de ces méthodes est d'asseoir l'évaluation du risque incendie sur des simulations numériques spatio-temporelles des phénomènes qui pilotent ce type d'événement :

- échanges thermiques (conduction, convection, rayonnement),
- combustion des matériaux potentiellement inflammables,
- écoulements d'air vers les foyers en combustion et écoulements de gaz brûlés à l'intérieur de l'enceinte étudiée ou vers l'extérieur du site au travers d'ouvertures diverses.

Aujourd'hui, la Société BERTIN & Cie dispose de trois classes de logiciels de simulation, de complexité croissante :

- classe VESTA 1 : logiciels de simulation temporelle des principaux phénomènes utilisant l'hypothèse du réacteur à deux zones (3),
- classe VESTA 2 : logiciels de simulation spatio-temporelle des mêmes phénomènes utilisant un modèle de réacteur à plusieurs zones (4) et développé dans le cadre du groupement F.I.S. en association avec le C.S.T.B.,
- classe VESTA 3 : logiciels de simulation spatio-temporelle des phénomènes physico-chimiques mis en jeu, utilisant une version simplifiée des équations de NAVIER-STOKES tridimensionnelles-instationnaires (5).

Le choix de telle ou telle classe de logiciels de simulation, la préparation du calcul déterministe et l'interprétation des résultats requièrent une expertise qui couvre plus spécifiquement :

- le choix d'hypothèses simplificatrices pour la simulation déterministe basées sur une connaissance physique des phénomènes et des calculs d'ordre de grandeur (corrélations semi-empiriques),
- le choix de conditions initiales et aux limites nécessaires pour exécuter une simulation déterministe appropriée au type de diagnostic requis,
- l'interprétation des résultats de la ou les simulations numériques en vue de comparer des scénarios d'incendies sur des bases rationnelles,
- un diagnostic final de risque en tenant compte à la fois des possibilités de modification du site et de l'efficacité des moyens de lutte.

C'est en vue de rationaliser ces études de risques que la Société BERTIN & Cie a développé le système expert VULCAIN. Ce prototype, aujourd'hui opérationnel, a donc pour objectifs majeurs :

- de combiner connaissances empiriques et déterministes afin de rationaliser l'évaluation de risques incendies pour des sites industriels complexes,
- de réduire la durée, et donc à terme le coût, de telles études, en particulier en hiérarchisant de manière plus systématique le choix des logiciels nécessaires et suffisants à l'évaluation du risque.

Ce document se propose de souligner les caractéristiques principales du système expert VULCAIN, de présenter des exemples d'applications et de situer ses perspectives d'évolution.

2 - DESCRIPTION GENERALE DE "VULCAIN"

2.1 - Le problème à résoudre

Toute évaluation de risques incendie en site industriel procède en 4 étapes :

- Etape 1 : Saisir la géométrie de l'enceinte à étudier et y positionner :
 - . les éléments combustibles présents et les caractéristiques ambiantes (pression, température...),
 - . les ouvertures faisant communiquer cette enceinte avec le monde extérieur,
 - . la nature du système de ventilation.

- Etape 2 : Choisir des scénarios d'allumage de foyers combustibles et, pour ceux-ci, évaluer la dégradation thermique subie en fonction du temps de différentes cibles jugées critiques (Exemple : armoires de contrôle commande dans un bâtiment regroupant les câbles électriques).

- Etape 3 : Comparer ces différents scénarios et y adjoindre différentes évolutions possibles liées aux modes d'intervention (humaine ou non).

- Etape 4 : Classer sur la base de critères fixés a priori le risque potentiel des différents scénarios d'incendies vis-à-vis du rôle joué par l'enceinte en fonctionnement industriel normal.

VULCAIN a pour rôle d'automatiser les étapes 1 à 3 d'une étude de diagnostic incendie.

2.2 - Structure générale du système expert VULCAIN

Classiquement, VULCAIN est décomposé en trois grandes parties schématisées sur la Figure 1 :

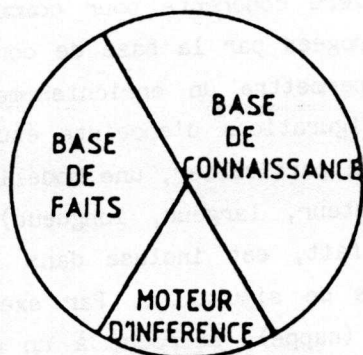


FIGURE 1

2.2.1 - La base de faits

Elle est décomposée en deux parties :

- a) la description physique des lieux dont on désire évaluer le potentiel de risque face à l'incendie.

Cette description physique part d'une description géométrique tridimensionnelle (longueur, largeur, hauteur de l'incendie) à laquelle est associé un descriptif des parois (épaisseur et nature), des matériaux combustibles (nature, masse, surface, altitude), des ouvertures permettant un accès dans l'enceinte (hauteur, largeur, position dans les parois) et du système de ventilation (naturelle ou forcée, en situant la position des bouches d'extraction et de soufflage),

- b) la base de données thermophysiques et chimiques qui, associée à la base de connaissances décrite ci-après, permet de mettre en application des règles de connaissances utilisant des données quantifiées (calculs d'ordre de grandeur physique, corrélations semi-empiriques et, enfin, simulations numériques).

Il est clair que les deux composantes de la base de faits doivent être structurées d'une manière cohérente pour communiquer entre elles, mais aussi pour être interrogées par la base de connaissances. Par ailleurs, leur structure doit permettre un enrichissement "naturel" du fait de la diversité des configurations d'enceinte étudiées et de leur contenu matériel. On notera, en particulier, une modélisation implicite des données géométriques (hauteur, largeur, longueur) et des types de cibles combustibles qui, en fait, est incluse dans la base de connaissances qui gère les logiciels de simulation. Par exemple, un réseau vertical de câbles électriques (nappe), accroché à un mur, sera décrit dans la base de faits comme une paroi verticale de matériau plastique ayant une épaisseur équivalente déduite du calcul du poids de ce matériau en tant que gaine de câble. Cette paroi sera ensuite prise en compte dans les simulations numériques comme dans l'élaboration des règles de décision, suivant les mêmes hypothèses de description.

2.2.2 - La base de connaissances

L'originalité de VULCAIN est d'être structuré autour d'une base de connaissances à deux niveaux : le savoir-faire ou heuristique de l'ingénieur spécialiste et la connaissance des phénomènes physico-chimiques de base.

2.2.2.1 - Un savoir-faire d'expert en évaluation de risque incendie utilisant des logiciels de simulation numérique de tels événements

Ce savoir-faire (ou heuristique) peut être lui-même décomposé en trois grands chapitres :

- un savoir-faire d'ingénieur aérothermochimiste ne retenant que les phénomènes importants dans sa simulation numérique et pouvant, a posteriori, jauger l'intérêt de tel ou tel type de simulation. Un exemple de règles de connaissance "physique" peut être :

si <LA COMBUSTION EST COMPLETE>

et si <LA VENTILATION EST FORCEE>

alors :

<LA COMBUSTION EST PILOTEE PAR LA PYROLYSE>

et <LA COUCHE CHAUDE EST STABILISEE SUR LA BOUCHE D'EXTRACTION>.

2.2.2.2 - Un savoir-faire de numéricien pouvant retenir, pour mener à bien une simulation numérique, telle ou telle méthode de résolution d'équations différentielles non linéaires. Un exemple de règles de connaissance "numérique" peut être :

si <LA COMBUSTION EST RAPIDE>

et si <IL Y A PRODUCTION D'ESPECES TOXIQUES>

alors :

<LES SYSTEMES D'EQUATIONS DIFFERENTIELLES DECRIVANT L'EVOLUTION DU SYSTEME EST RAIDE>

et <LES RESULTATS NUMERIQUES PEUVENT ETRE INSTABLES>.

2.2.2.3 - Un savoir-faire de technologue du feu qui, en l'état actuel des expertises requises, considère surtout les tendances du comportement structurel de l'enceinte en cas d'incendies (résistance mécanique des vitres, des structures métalliques, ...) et les modifications apportées à l'évolution du feu par les moyens d'extinction classique.

2.2.2.4 - La connaissance des phénomènes physiques de base

Cette connaissance regroupe en fait :

- l'ensemble de la démarche scientifique qui, à partir de lois physiques immuables (exemple : première et seconde loi de la thermodynamique,

bilan masse et quantité de mouvements en mécanique des fluides...) permet de préparer un modèle mathématique acceptable des phénomènes : ce modèle sera résolu par l'une des classes de logiciels VESTA,

- l'ensemble des calculs d'ordre de grandeur qui, dans le cadre de la mise en oeuvre de la démarche déjà mentionnée, permet de justifier telle ou telle approximation des phénomènes à étudier (et ceci indépendamment des grands principes de physique évoqués plus haut). On mentionnera, en particulier, des corrélations semi-empiriques d'échanges thermiques ou de vitesse de combustion de matériaux potentiellement dégradables dont la validité dépend beaucoup des conditions expérimentales (laboratoire, grande échelle) dans lesquelles elles ont été établies.

La caractéristique essentielle de cette base de connaissances est qu'elle associe dans les règles "si... alors..." des variables symboliques et des variables numériques.

Par exemple :

si <LA VENTILATION EST NATURELLE>
 et si <LE MATERIAU EN NAPPE VERTICALE EST D'EPAISSEUR INFERIEURE A
 10 MM>
 alors : <LA VITESSE DE COMBUSTION EST DONNEE PAR LA LOI DE TEWARSON>
 et <LE FLUX CRITIQUE D'ALLUMAGE PAR RAYONNEMENT EST EGAL A
 10 KW/M2>.

2.2.3 - Le moteur d'inférence

Dans le cadre d'un diagnostic de risque incendie, l'expert effectuant le diagnostic fonctionne généralement sur la base de scénarios en "chânage arrière".

Partant d'un risque redouté (par exemple : embrasement généralisé, auto-extinction, allumage de cibles à distance), il vérifie si toutes les conditions sont remplies pour entraîner ce diagnostic. Son classement

des scénarios les plus dangereux revient ensuite à comparer les risques respectifs d'avoir l'ensemble des conditions réunies pour aboutir aux conclusions envisagées.

C'est pour cette raison essentielle que le développement de VULCAIN a été accompli en environnement PROLOG II (6, 7). Outre le fait que la stratégie de "chainage arrière" réduit considérablement la taille de l'arborescence de recherche des connaissances à utiliser, le développement sous PROLOG II permet :

- l'utilisation d'un moteur d'inférence existant,
- un développement aisé d'une base de données cohérente avec la base de connaissances,
- une structuration agréable des interfaces utilisateurs, en particulier pour le couplage "connaissance symbolique/connaissance numérique",
- une facilité de couplage avec les logiciels de simulation numérique écrits en FORTRAN.

2.3 - Configuration opérationnelle de VULCAIN

Aujourd'hui, le prototype opérationnel de VULCAIN permet :

- un diagnostic du risque incendie à partir d'événements redoutés tels que l'embrassement généralisé, l'évolution en local complètement isolé ou en présence de ventilation forcée,
- un diagnostic concernant le potentiel d'interventions humaines,
- une comparaison de l'évaluation des risques à partir de normes ou calculs d'ordre de grandeur et de simulations numériques plus complètes.

La Figure 2, ci-dessous, résume l'organisation interne de VULCAIN :

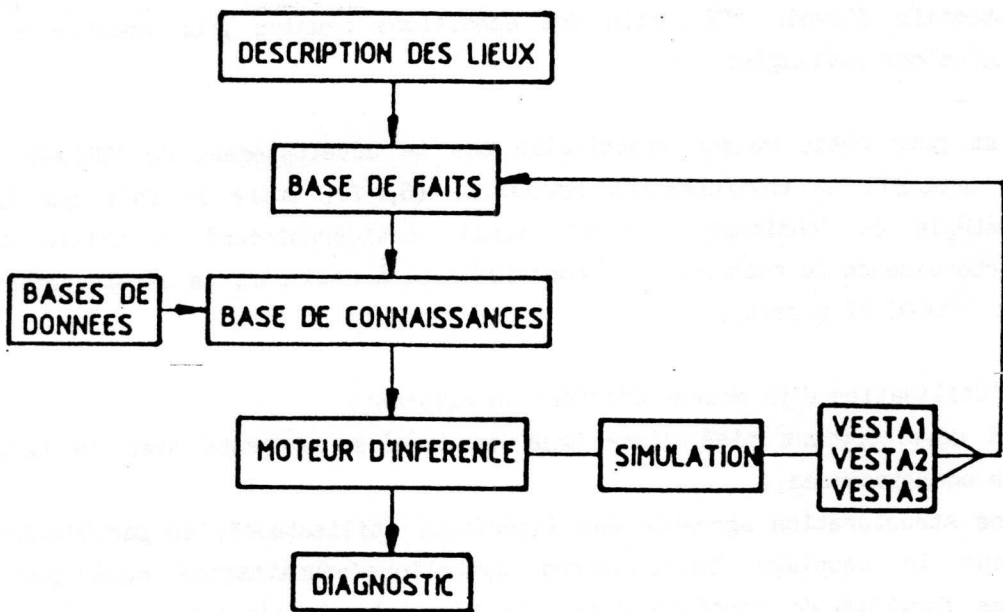


FIGURE 2

Seul le couplage avec VESTA 1 est opérationnel, les logiciels VESTA 2 et VESTA 3 étant en cours d'optimisation.

3 - EXEMPLE D'APPLICATION

3.1 - Le cas à traiter : soit à étudier le risque d'incendie pour un local isolé ou ventilé, avec ou sans intervention.

BASE DE FAITS

- Géométrie de l'enceinte :

- * Longueur : 10 m
- * Largeur : 5 m
- * Hauteur : 2.34 m

- Cibles combustibles :

- * Nature : Huile
- * Type : Nappe
- * Masse : 10 Kg
- * Surface : 1.44 m²
- * Altitude : 0.1 m

- Nature des parois :

- * Murs : Béton, 0.2 m
- * Plafond : Béton, 0.2 m
- * Plancher : Béton, 0.2 m

- Ventilation naturelle :

- Ouverture * Hauteur : 2 m
- * Largeur : 0.80 m
- * Altitude : 0 m
- * Etat : ouvert

BASE DE DONNEES- Combustible : huile

Conductivité thermique	: 0.139	W/M.DC
Masse volumique	: 7300	KG/M3
Capacité calorifique	: 2205	J/KG.DC
Enthalpie de combustion	: 4.46 10	J/KG
Enthalpie de vaporisation	: 2.74 10	J/KG
Rapport stoechiométrique	: 3.41	
Taux de combustion	: 0.0173	KG/M2.S
Température d'inflammation	: 500	K
Emissivité	: 0.9	

- Parois : béton

Conductivité	: 0.8	W/M.K
Masse volumique	: 1700	KG/M3
Capacité calorifique	: 1000	J/KG.K
Emissivité	: 1	
Température critique	: 1050	

BASE DE CONNAISSANCES

: environ 200 règles PROLOG.

3.2. - Résultat de l'expertise

EMBRASEMENT :

--> corrélation de THOMAS

risque d'embrasement généralisé du à la configuration géométrique car la puissance potentielle de l'incendie est supérieure à la puissance critique conduisant à l'embrasement généralisé

qpcr = 29367 W
qmax = 1108880 W

--> risque d'embrasement des imbrules car les gaz chauds sont à une température élevée

température gaz chaud : 368 °C

INTERVENTION :

hauteur couche chaude : 1.62 m
distance de secours (1 mn) : 3.61 m
distance de lutte (5 mn) : 4.72 m

--> intervention possible sous la couche chaude pendant plusieurs minutes à plus de 4.72 mètres du foyer à confirmer par une évaluation plus précise de la hauteur de la couche chaude (simulation VESTA)

EVOLUTION DU FEU LOCAL ISOLE :

l'air présent permet de brûler	:	3.40	Kg
combustible présent	:	10	Kg
temps de fin de combustion local isolé	:	273	s
température des gaz à cet instant	:	199	°C

--> phénomène d'anoxie :
 en cas d'incendie isoler le local
 fermeture des portes ,arrêt ventilation

--> il y a accumulation de gaz imbrûlés: (toxicité, asphyxie)
 un apport d'air peut faire reprendre la combustion
 ne pas ouvrir les portes

EVOLUTION DU FEU :

les grandeurs caractéristiques du démarrage et du régime permanent

	DEMARRAGE	PERMANENT
hauteur couche chaude :		1.18 m
température couche chaude :		368 °C
température du panache :	300 °C	736 °C
débit d'air nécessaire :	1.10 Kg/s	1.10 Kg/s
débit pyrolyse :	0.02 Kg/s	0.02 Kg/s
efficacité de combustion :	1.00	0.72
puissance dégagée :	1108 KW	801 KW
débit entraîné :	2.94 kg/s	0.68 Kg/s
remplissage couche chaude :	53 s	
durée du feu :		401 s

DEMARRAGE :

la combustion est complète au démarrage
 efficacité de combustion =1

PERMANENT :

--> la combustion est incomplète, elle est pilotée par les apports d'air .
 --> il y a accumulation d'imbrûlés en couche chaude
 --> une augmentation de section des ouvertures entraîne une amélioration de la combustion, augmente la puissance dégagée par le feu

validité de l'évaluation de la norme ISO :

--> sous évaluation de la norme ISO pour la température
 --> sous évaluation de la norme ISO pour la durée du feu

4 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

On décrit un prototype de système expert "VULCAIN" développé par la Société BERTIN & Cie pour aborder plus facilement les études de risques incendie dans des sites industriels complexes. Ecrit en PROLOG II, ce système expert présente trois particularités :

- il manipule simultanément des connaissances symboliques et numériques dans le cadre de règles de type "si...alors...",
- il gère des logiciels de simulation numérique d'évolution spatio-temporelle d'incendies,
- les bases de faits et bases de connaissances sont structurées de façon à être totalement compatibles et extensibles, en particulier, pour manipuler les connaissances symboliques utilisées dans le choix et la préparation des logiciels de simulation numérique.

Il permet aujourd'hui d'effectuer ces études de risques de manière plus rationnelle et plus efficace, ce qui débouche sur des gains de temps assez importants par rapport aux approches classiques.

Des travaux vont démarrer pour structurer ce prototype sous forme d'un produit industriel diffusable auprès d'entités qui pratiquent systématiquement l'évaluation de risques "incendies". En particulier, un interprète, un outil de test de cohérence et des interfaces utilisateur seront développés de façon à permettre aux utilisateurs d'ajouter, sans altérer le noyau de base du produit, de nouveaux faits ou connaissances spécifiques du domaine abordé par celui-ci.

Enfin des études sont en cours pour une utilisation de tout ou partie de VULCAIN dans un processus de décision "temps réel" pour lequel des problèmes conceptuels de mise en oeuvre des connaissances restent à résoudre (8).

REFERENCES

- 1 - S. GALANT " The use of deterministic computer codes to assess fire behavior and ventilation requirements in confined enclosures : present capabilities and future prospects " CSNI Meeting, Los Alamos, April 1984.
- 2 - F. COUILLEC, J. KARIAN, J.P. PATUREAU, S. GALANT, Note BERTIN & Cie 81 Cg 27 (1981).
- 3 - S. GALANT, J.M. CHAIX, Entropie 87, p 68 (1979).
- 4 - D. GROUSET, M. STEINFELD, Note BERTIN & Cie à paraître.
- 5 - H. BAUM, R.G. REHN, G.W. MULHOLLAND, 19 th International Symp. Combustion, Haifa, Israël (1982).
- 6 - A. COLMERAUER - Communications of the A.C.M., 28, p.1296, December 1985.
- 7 - J. COHEN - Communications of the A.C.M., 28, p.1311, December 1985.
- 8 - D.L. PARNAS - Communications of the A.C.M., 28, p.1326, Décembre 1985.

REMERCIEMENTS

Ce travail est entièrement financé par la Société BERTIN & Cie.

Messieurs MORDCHELLES-REGNIER, DAHAN, DE TURCKEIM et GALANT doivent être remerciés pour leur confiance et l'aide apportée tout au cours de la phase de développement.

Nom des auteurs M. HILEYAN
R. HALLER
D. GROUSET

Adresse BERTIN et Cie
BP 22 - 13762 - LES MILLES

Téléphone 42.60.01.11

Télex : 420729