

EUR 11.366



Commission des Communautés européennes

recherche technique acier

Propriétés et comportement en service

COMPARAISON DE MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUE EN SÉCURITÉ INCENDIE



Rapport
EUR 11366 FR

Agrandissement à partir d'un original microfiche

Commission des Communautés européennes

recherche technique acier

Propriétés et comportement en service

COMPARAISON DE MÉTHODES D'ANALYSE DE RISQUE EN SÉCURITÉ INCENDIE

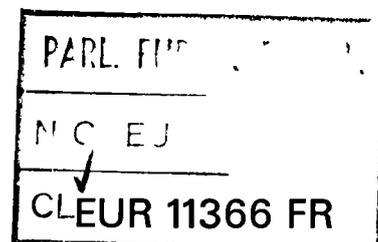
J. BENOUAICH, Y. RIVIERE

C.T.I.C.M.
20, rue Jean Jaurès
F-92807 PUTEAUX

Convention n° ECI-1331-B-7240-85 F

RAPPORT FINAL

Direction Générale
Science, recherche et développement



1988

Publié par:
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
Direction générale
Télécommunications, Industries de l'Information et Innovation
L-2920 LUXEMBOURG

AVERTISSEMENT

Ni la Commission des Communautés européennes, ni aucune autre personne agissant au nom de la Commission, n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations ci-après

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION

II. PRESENTATION DES DIFFERENTES METHODES ETUDIEES

II.1. LES APPROCHES DETERMINISTES

- II.1.1 Objectifs
- II.1.2 Besoins
- II.1.3 Moyens

II.2. LES APPROCHES PROBABILISTES

- II.2.1 Objectifs
- II.2.2 Besoins
- II.2.3 Moyens

II.3 PREMIERE COMPARAISON : FACTEURS DETERMINISTES ET EVENEMENTS PROBABILISTES

III. TRAITEMENT DE CAS ET PRISE EN COMPTE DE LA STABILITE DES STRUCTURES PAR DIVERSES METHODES

III.1 EXEMPLES DE METHODES DETERMINISTES

III.1.1 Méthode SIA

- III.1.1.1 Structure de la méthode
- III.1.1.2 Traitement de la résistance au feu des structures porteuses
- III.1.1.3 Exemple
- III.1.1.4 Critique de la méthode

III.1.2 Méthode ERIC

- III.1.2.1 Structure de la méthode
- III.1.2.2 Traitement de la résistance au feu
- III.1.2.3 Exemple
- III.1.2.4 Critique de la méthode

III.2. EXEMPLES DE METHODES PROBABILISTES

III.2.1 Méthode GSA

- III.2.1.1 Arbre de décision
- III.2.1.2 Traitement de la stabilité des structures
- III.2.1.3 Exemple
- III.2.1.4 Critique de la méthode

III.2.2 Méthode NFPA (modèle de transition d'état)

- III.2.2.1 Structure de la méthode
- III.2.2.2 Exemple : feu de cuisine
- III.2.2.3 Critique de la méthode

IV. TRAVAUX DIVERS D'ETUDES PROBABILISTES

IV.1. THOR ET SEDIN

IV.1.1 Rapport coût/bénéfice au niveau national

IV.1.2 Rapport coût/bénéfice pour les cas particuliers

IV.2. BALDWIN

IV.3. MODELES DE TRANSITION D'ETAT

IV.3.1 Beck

IV.3.2 Williamson

V. DIFFICULTES POUR RENDRE CES APPROCHES OPERATIONNELLES

V.1 LES DONNEES PROBABILISTES

V.2 L'INTERACTIVITE ENTRE FACTEURS

VI. CONCLUSION

VII. REFERENCES

RESUME

L'apparition et l'utilisation depuis quelques décennies de méthodes d'analyses multicritères pour l'étude de systèmes complexes a intéressé les différents corps concernés par l'évaluation du risque incendie.

En effet :

- l'emploi de matières synthétiques, de machines plus performantes et de matériel électronique a fait augmenter, d'une part, la fréquence des incendies d'origine électrique ou mécanique et ,d'autre part, les pertes monétaires subies.
- l'utilisation massive de divers moyens de protection et la prise en compte de ces équipements a introduit un nombre croissant de facteurs pour l'évaluation du risque incendie.

En plus de la possibilité de considérer plusieurs paramètres, l'analyse des systèmes permet d'introduire des relations d'interactivité entre ces différents paramètres. Le concept de cette analyse provient en effet de l'idée que toute partie du système a une action sur ses autres parties.

SUMMARY

In the last decade the use of the system analysis has been generalised.

It is for this reason that it might be interesting for fire risk evaluation.

- the use of synthetic material, electronic hardware and powerful machine increased on the one hand fires caused by electricity and on the other hand the losses.
- the common use of several means of protection introduced a lot of factors to be taken into account in fire risk evaluation.

System analysis can integrate several parameters and their interactive relations. In fact the concept of this analysis comes from the idea that each part of the system exerts an action on the other parts of the system.

ZUSAMMENFASSUNG

Das seit einigen Jahrzehnten beobachtete Auftauchen und die Verwendung von mehreren Kriterien erfüllenden Analysemethoden zur Untersuchung komplexer Systeme hat das Interesse der verschiedenen für die Beurteilung der Brandrisiken zuständigen Gremien gefunden.

So haben :

- die Verwendung von Kunststoffen, von leistungsfähigeren Maschinen und von elektronischen Geräten zu einer Zunahme der durch elektrischen Strom oder mechanische Ursachen ausgelösten Brände sowie der finanziellen Verluste geführt.
- der umfangreiche Einsatz verschiedener Schutzeinrichtungen und die Berücksichtigung dieser Ausrüstungen zu einer Zunahme der Faktoren zur Bewertung des Brandrisikos geführt.

Außer der Möglichkeit, mehrere Parameter zu berücksichtigen, erlaubt es die Systemanalyse, Wechselwirkungsbeziehungen zwischen diesen verschiedenen Parametern herzustellen. Das Konzept dieser Analyse ergibt sich somit aus der Idee, daß jedes einzelne Teil des Systems sich auf dessen andere Teile auswirkt.

I. INTRODUCTION

L'apparition et l'utilisation depuis quelques décennies de méthodes d'analyses multicritères pour l'étude de systèmes complexes a intéressé les différents corps concernés par l'évaluation du risque incendie.

En effet :

- l'emploi de matières synthétiques, de machines plus performantes et de matériel électronique a fait augmenter, d'une part, la fréquence des incendies d'origine électrique ou mécanique et ,d'autre part, les pertes monétaires subies.
- l'utilisation massive de divers moyens de protection et la prise en compte de ces équipements a introduit un nombre croissant de facteurs pour l'évaluation du risque incendie.

En plus de la possibilité de considérer plusieurs paramètres, l'analyse des systèmes permet d'introduire des relations d'interactivité entre ces différents paramètres. Le concept de cette analyse provient en effet de l'idée que toute partie du système a une action sur ses autres parties.

Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont :

- de connaître et d'estimer les moyens actuellement disponibles pour traiter le problème de la sécurité incendie dans sa totalité, en tenant compte de l'interdépendance des moyens de protection.
- d'étudier l'approche utilisée par les méthodes d'analyse de risque pour tenir compte de la résistance au feu des structures ainsi que de la représentativité des coefficients qui lui sont attribués.
- de prévoir, éventuellement, les études qu'il y aurait lieu d'effectuer pour disposer d'une méthode utilisable d'analyse de risque de la sécurité incendie des bâtiments, afin de pouvoir :
 - . démontrer scientifiquement la faible importance de la stabilité au feu des structures dans certains types de bâtiments, ce qui permettrait de réduire le coût de protection de ces ossatures,
 - . et disposer d'une méthode permettant de compenser, en conservant le même niveau de sécurité, une durée de stabilité au feu réduite par des moyens beaucoup moins contraignants pour l'expression architecturale que ne l'est une protection thermique.

II. PRESENTATION DES DIFFERENTES METHODES ETUDIEES

Les approches globales en sécurité incendie se regroupent essentiellement en deux catégories :

- . les méthodes déterministes,
- . les méthodes probabilistes.

Les premières ont pour objectif une quantification du risque incendie, les secondes expriment ce risque sous forme d'une probabilité d'occurrence des conséquences des incendies.

Le premier volet de ce rapport concerne l'étude de 4 méthodes qui sont les plus avancées dans le domaine de la sécurité incendie.

Un second volet examine des travaux divers qui ont pour base un concept probabiliste, mais qui ne traitent pour l'instant que certains domaines de la sécurité incendie.

II.1 LES APPROCHES DETERMINISTES

II.1.1 Objectifs

Les méthodes déterministes visent à définir une valeur quantitative du risque d'incendie à partir de la considération des mesures de protection et des facteurs de danger potentiels.

Cette évaluation a deux applications possibles :

- fixer un niveau de risque maximum,
- servir de base pour le choix entre diverses mesures de protection.

II.1.2 Besoins

Le développement des méthodes déterministes d'évaluation du risque se fait en trois étapes :

- sélection et organisation des facteurs considérés,
- élaboration d'une méthode de calcul,
- pondération des facteurs,

Les deux méthodes que nous examinons sont issues des travaux de Max GRETENER et sont surtout utilisées par divers sociétés d'assurance pour établir leurs tarifs.

Elles utilisent la formulation suivante pour le calcul du risque.

$$R = A \cdot \frac{D}{M}$$

Avec :

R : risque
A : danger d'activation
D : facteur de danger
M : mesures de protection

Des exemples de quantification de ces paramètres sont donnés dans le chapitre 3.

II.1.3 Moyens

La sélection, l'organisation et la pondération se font à partir de deux types de considérations :

- Des considérations déterministes correspondant à un accord entre les experts intéressés, ceci s'applique par exemple à la pondération affectée au service de secours public, selon les moyens en hommes et en matériel, et selon son éloignement.
- Des connaissances statistiques, ceci s'applique par exemple à la pondération du danger d'activation en fonction du type d'affectation des locaux.

En pratique, et pour qu'une méthode soit opérationnelle, elle doit recueillir l'agrément des différents corps qui pourront l'utiliser ou en reconnaître les résultats.

II.2. LES APPROCHES PROBABILISTES

II.2.1 Objectifs

L'objectif des méthodes probabilistes est de quantifier le risque, non par rapport à une échelle, mais par description directe de la réalité. Le risque est alors exprimé par les probabilités d'occurrence de diverses quantités de dommage d'incendie. Ces quantités se rapportent aux pertes monétaires directes et indirectes, ou/et aux nombres de personnes blessées ou décédées des suites de l'incendie.

Ces méthodes doivent également fournir, sous la même forme probabiliste, des objectifs de sécurité.

Dans la mesure où ces méthodes permettent de calculer le risque pour diverses configurations des facteurs de danger ou de protection, elles offrent une assistance à la décision.

Par ailleurs, ces méthodes doivent permettre de prendre en compte l'interactivité entre différents facteurs.

II.2.2 Besoins

Le développement des méthodes probabilistes nécessite quatre étapes :

- sélection et organisation des événements considérés,
- spécification des interactions entre ces événements,
- détermination des facteurs affectant la réalisation des événements, et quantification de leur action,
- détermination des probabilités de réalisation des événements selon les diverses configurations des facteurs.

Exemple : Pour l'événement "franchissement d'une cloison par l'incendie", les facteurs qui pourront être considérés, sont le matériau constituant la cloison, le mode d'assemblage, le pourcentage d'ouverture.

II.2.3 Moyens

Les deux premières phases : sélection et organisation des événements selon un arbre de décision ou de défaillance, font appel à une description déterministe du fonctionnement du système. Les événements sont reliés par la logique Booléenne.

La troisième et la quatrième phase : quantification des actions des facteurs influents et des probabilités d'occurrence des événements, utilisent les différentes méthodes de détermination de données probabilistes.

Deux types de probabilités peuvent être obtenues :

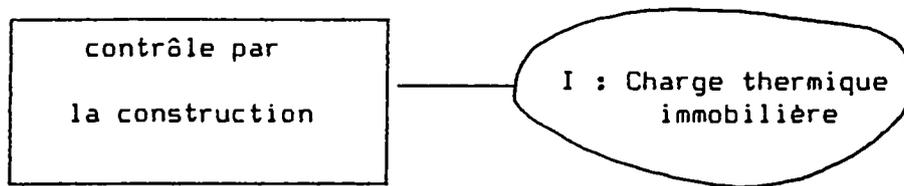
- des probabilités empiriques, à posteriori, obtenues à partir de statistiques disponibles sur l'événement considéré,
- des probabilités "à priori", établies à partir d'une modélisation mathématique de l'événement, ou plus simplement à partir d'estimation d'experts.

II.3 PREMIERE COMPARAISON : FACTEURS DETERMINISTES ET EVENEMENTS PROBABILISTES

Afin de mieux saisir la relation entre les facteurs de danger et mesures de protection des méthodes déterministes, et les événements des méthodes probabilistes, nous présentons avec l'arbre de décision de la NFPA (National Fire Projection Association) les facteurs de la méthode SIA (Société suisse des Ingénieurs et Architectes) qui se rattachent aux divers événements.

Les événements probabilistes correspondent aux étapes de l'arbre, et les facteurs déterministes sont mis dans des bulles.

Exemple :



(événement probabiliste)

(facteur déterministe)

Il peut déjà être remarqué que la quasi totalité des facteurs de la méthode SIA se rapportent à la partie "contrôle au feu" de l'arbre de décision. Il est d'ailleurs souligné dans les approches de la NFPA et de la GSA (General Service Administration), que cette branche constitue la clé du problème de la sécurité incendie.

DECISION TREE
 Comité de Systèmes Concepts
 for Fire Protection in Structures
 November 1974

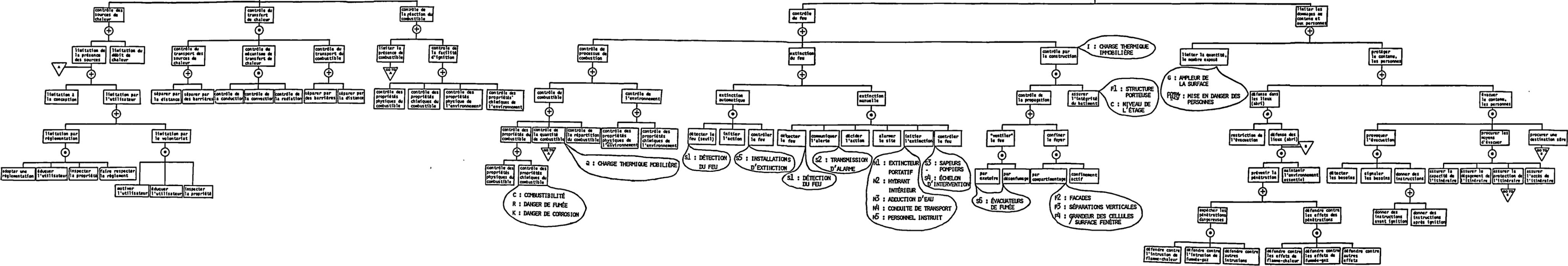


$$Y = \frac{RU}{R}$$
 SÉCURITÉ INCENDIE (Y) = $\frac{RISQUE LIMITE ACCEPTÉ (RU)}{RISQUE INCENDIE EFFECTIF (R)}$

DANGER D'ACTIVATION

empêcher l'ignition

contrôler l'impact du feu



III. TRAITEMENT DE CAS ET PRISE EN COMPTE DE LA STABILITE DES STRUCTURES PAR DIVERSES METHODES

III.1. EXEMPLE DE METHODES DETERMINISTES

III.1.1 Méthode SIA

Méthode d'évaluation du risque incendie de la SIA.
SIA : Société Suisse des Ingénieurs et Architectes

La première version a été publiée en 1979, et une version modifiée a été publiée en 1984.
Cette méthode permet de tenir compte des facteurs de danger et des mesures de protection essentielle, et de définir un niveau de sécurité à atteindre.

III.1.1.1 Structure de la méthode

Cette méthode permet de calculer un risque d'incendie égal au quotient du risque limite accepté R_u par le risque effectif calculé R .

$$- R_u = 1,3 \cdot P_{he}$$

P_{he} représente la valeur inverse de la probabilité de menace des personnes.

Le coefficient 1,3 exprime la sensibilité de l'opinion publique plus importante pour les pertes humaines que matérielles.

$$- R = A \cdot B$$

A ACTIVATION

Elle permet l'évaluation de la survenance d'un feu.

B MISE EN DANGER D'INCENDIE

Elle veut mesurer l'étendue probable d'un dommage.

$$B = \frac{P}{NSF}$$

P : danger potentiel

N : mesures normales

S : mesures spéciales

F : mesures de construction

La forme du traitement numérique de l'ensemble des facteurs du risque incendie pourrait donner lieu à des utilisations abusives de la méthode, car la formule de quotient :

$$R = A \cdot \frac{q.c.r.k.i.e.g}{n1.n2.n3.n4.n5.s1.s2.s3.s4.s5.s6.f1.f2.f3.f4}$$

permet la compensation numérique de la variation d'un facteur par la variation de n'importe quel autre.

Afin d'éviter cette erreur, la diminution du risque incendie doit être réalisée selon les priorités suivantes :

- 1 - Respecter toutes les mesures normales
- 2 - Améliorer le concept du bâtiment
 - qu'il en résulte un type de construction plus favorable
 - que le facteur F (mesures de la construction) soit augmenté
 - que la valeur de la charge thermique immobilière (donc de P) soit diminuée
- 3 - Prévoir des mesures spéciales adéquates

III.1.1.2 Traitement de la résistance au feu des structures porteuses

Cette méthode d'évaluation du risque doit être appliquée en se référant aux directives de l'AEIA : Association des Etablissements cantonnaires d'Assurance contre l'Incendie.

La directive "Dispositions générales" autorise l'application de mesures de substitution aux mesures normalement prévues dans les directives, ceci s'applique en particulier à la résistance au feu des structures portantes :

Il est ainsi stipulé :

"Des mesures de substitution à celles de protection contre l'incendie prévues par les directives peuvent être exceptionnellement admises, pour autant qu'elles soient équivalentes et que le risque incendie ne soit pas augmenté".

Les mesures de substitutions sont les mesures spéciales citées dans la méthode. Ces mesures permettent de compenser, en conservant un niveau de sécurité acceptable, une durée de stabilité au feu réduite des structures.

Parmi les mesures de construction, la priorité est donnée à la limitation de la surface des compartiments coupe-feu.

Les intervalles de variation sont de 1.0 à 1.3 pour le facteur f_1 de la stabilité des structures, et de 1.0 à 1.4 pour le facteur f_4 du compartimentage.

Les différentes mesures spéciales qui peuvent être appliquées en compensation concernent :

- s1 : la détection du feu
- s2 : la transmission de l'alarme
- s3 : le corps des sapeurs-pompiers officiels
- s4 : l'échelon d'intervention des secours
- s5 : les installations d'extinction automatique
- s6 : l'évacuation des fumées

III.1.1.3 Exemple

Nous reprenons l'exemple fourni dans le document SIA 81 et l'explicitons.

Il s'agit d'une fabrique de crayons. Les valeurs de q , c , r , k et A sont données dans les tables du document SIA 81.

La conception première du site (voir variante 1 page suivante) conduit à un facteur de sécurité = 0.38 inférieur à 1, donc insatisfaisant.

Feuille de calcul

BATIMENT		LIEU		RUE				
Partie du bâtiment Fabrication de crayons		VARIANTE 1..		VARIANTE 2..		VARIANTE 3..		
Compartment: Type de bâtiment:		l = 100 b = 60 AB = 6 000 l/b = 1,6		l = 50 b = 30 AB = 1 500 l/b = 1,6		l = 100 b = 60 AB = 1 600 l/b = 1,6		
TYPE DE CONCEPT								
DANGERS POTENTIELS	q	Charge thermique mobilière	Qm = 500	1,3	Qm =	1,3	Qm =	1,3
	c	Combustibilité		1,2		1,2		1,2
	r	Danger de fumée		1,0		1,0		1,0
	k	Danger de corrosion		1,0		1,0		1,0
	i	Charge thermique immobilière		1,0		1,0		1,0
	e	Niveau d'étage		1,0		1,0		1,0
	g	Ampleur de surface		1,8		1,0		1,8
	P	DANGER POTENTIEL	qcrk · ieg	2,81	qcrk · ieg	1,56	qcrk · ieg	2,81
MESURES DE PROTECTION	n ₁	Extincteur portatif		1,0		1,0		1,0
	n ₂	Hydrant intérieur		1,0		1,0		1,0
	n ₃	Adduction d'eau	1,0	1,0	1,0
	n ₄	Conduite de transport		1,0		1,0		1,0
	n ₅	Personnel instruit	E.....	0,8	E.....	0,8	E.....	0,8
	N	MESURES NORMALES	n ₁ ... n ₅	0,8	n ₁ ... n ₅	0,8	n ₁ ... n ₅	0,8
	s ₁	Détection du feu		1,0		1,45		1,2
	s ₂	Transmission d'alarme		1,0		1,2		1,2
	s ₃	Sapeurs-pompiers		1,35		1,35		1,35
	s ₄	Echelons d'intervention		0,8		0,8		1,0
	s ₅	Installations d'extinction		1,0		1,0		2,0
	s ₆	Evacuateurs de fumée		1,0		1,0		1,0
	S	MESURES SPECIALES	s ₁ ... s ₆	1,08	s ₁ ... s ₆	1,88	s ₁ ... s ₆	3,89
	f ₁	Structure porteuse	F = 30	1,2	F =	1,2	F < 30	1,0
f ₂	Façades	F = 90	1,15	F =	1,15	F =	1,15	
f ₃	Plafond .Séparation des étages/ .Communications verticales	F =	1,0	F =	1,2	F =	1,0	
f ₄	Grandeur des cellules .Surface fenêtres	AZ = AF/AZ =		AZ = AF/AZ =		AZ = AF/AZ =		
F	MESURES DE LA CONSTRUCTION	f ₁ ... f ₄	1,38	f ₁ ... f ₄	1,38	f ₁ ... f ₄	1,15	
B	Mise en danger	$\frac{P}{N \cdot S \cdot F}$	2,36	$\frac{P}{N \cdot S \cdot F}$	0,75	$\frac{P}{N \cdot S \cdot F}$	0,79	
A	Danger d'activation		1,45		1,45		1,45	
R	Risque incendie effectif	B · A	3,42	B · A ·	1,09	B · A	1,15	
PH,E	Mise en danger des personnes	H = p =	1,0	H = p =	1,0	H = c =	1,0	
R _U	Risque limite accepté	1,3 · PH,E	1,3	1,3 · PH,E	1,3	1,3 · PH,E	1,3	
γ	Sécurité incendie	$\gamma = \frac{R_U}{R}$	0,38	$\gamma = \frac{R_U}{R}$	1,19	$\gamma = \frac{R_U}{R}$	1,13	
Remarques								

variante 2

- . On diminue le danger potentiel du bâtiment en divisant la surface de 6000 m² en quatre compartiments coupe-feu de 1500 m². Ainsi, le facteur de surface g est réduit de 1.8 à 1.0.
- . On applique des mesures spéciales.
 - Le site initial ne comporte aucune mesure de détection ; on l'équipe d'un système de détection relié à un poste occupé en permanence (s2). Ainsi, s1 passe de 1.0 à 1.45.
 - Le site initial ne comporte aucune mesure de transmission d'alarme ; on l'équipe d'un système de secours officiel. La ligne est surveillée en permanence et prioritaire (s24). Ainsi, s2 passe de 1.0 à 1.2.

L'ensemble de ces mesures conduit à un facteur de sécurité de 1.19, qui est alors acceptable.

variante 3

Le compartimentage ne répondant pas au besoins du futur exploitant, qui désire d'autre part réduire le coût du bâtiment, une autre alternative lui est proposée :

- On garde la surface de 6000 m² --> g = 1.8
- On modifie les mesures spéciales en supprimant l'installation de détection et en la remplaçant par une installation de sprinkler de classe 1, (qui assure également la détection).
Ainsi le facteur s1 est réduit de 1.45 à 1.2
et le facteur s2 passe de 1.0 à 2.0
- On peut alors se permettre une réduction de la résistance au feu des structures :
Le site initial prévoyait une structure ayant une résistance au feu d'au moins 30 min ; cette contrainte est supprimée.
Ceci réduit le facteur f1 de 1.2 à 1.0.

L'ensemble de ces mesures conduit à un facteur de risque = 1.13, qui est satisfaisant.

III.1.1.4 Critique de la méthode

Le premier avantage de la méthode SIA est d'être opérationnelle et appliquée par plusieurs compagnies d'assurance. Cette application donne à la méthode les moyens d'évoluer en même temps que les connaissances en incendie. La ré-édition modifiée de la méthode en 1984, démontre ses capacités d'adaptation.

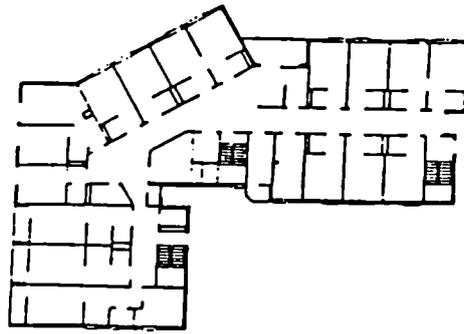
Le critère de sécurité incendie est basé sur la comparaison entre un risque limite accepté R_u , directement fonction de la mise en danger des personnes, à un risque effectif R , fonction des divers facteurs de danger et mesures de protection. Or, l'influence de ces facteurs n'est pas la même selon qu'ils s'appliquent à la sécurité des biens ou à celle des personnes. Cependant cette démarche est une pratique courante, basée sur le principe selon lequel un accroissement de la sécurité des biens améliore également la sécurité des personnes.

La méthode offre, à côté de l'énumération des facteurs essentiels du risque incendie, un ensemble précis de définitions des différents états de ces facteurs.

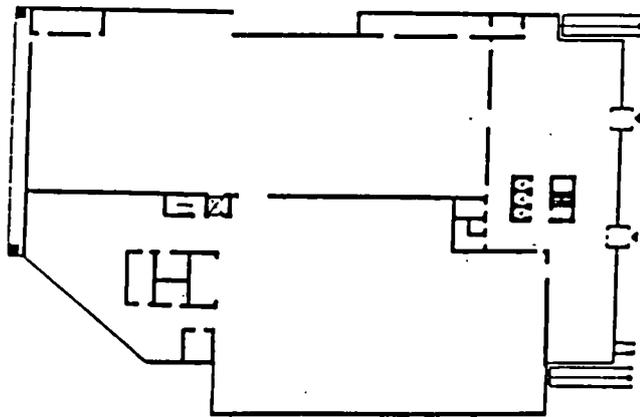
La méthode définit trois types de bâtiments d'après les types de propagations favorisés dans chaque type :

- type Z : Construction en cellules - entravant et limitant la propagation horizontale et verticale du feu.
- type G : Construction à grande surface - permet et facilite la propagation horizontale, mais non verticale du feu.
- type V : Construction à grand volume - favorise et accélère la propagation horizontale et verticale du feu.

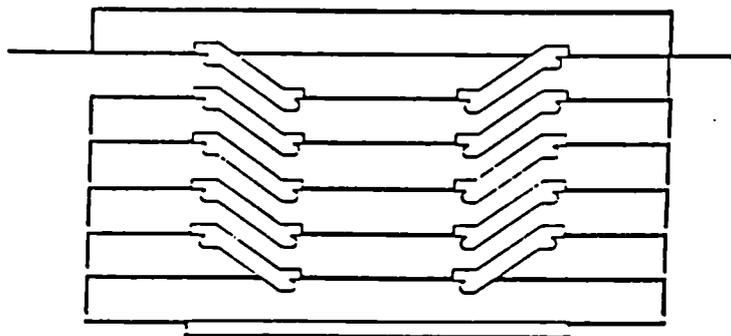
type Z



type G



type V



L'appartenance du bâtiment à un type de bâtiment influe sur la pondération des facteurs : q,g,e.

III.1.2 Méthode ERIC

ERIC (Evaluation du Risque Incendie par le Calcul)
développée par l'UTI et le CoSTIC

(UTI : Union Technique Interprofessionnelle des
fédérations du bâtiment - France
CoSTIC : Comité Scientifique et Technique du
Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement
d'air - France)

Comme la méthode SIA, elle est fondée sur les
principes développés par GRETENER, et est destinée à
fournir aux responsables d'entreprise un outil
d'évaluation du risque global incendie, en
distinguant le risque pour les personnes du risque
pour les biens. A cette fin des poids distincts sont
attribués aux facteurs des différents dangers et
mesures de protection selon qu'ils s'appliquent aux
personnes ou aux biens.

III.1.2.1 Structure de la méthode

La forme de calcul du RISQUE comme quotient des
DANGERS par les MESURES est la même que celle qui est
employée dans SIA, mis à part le DANGER D'ACTIVATION
qui est ici traité avec les autres dangers.

Les paramètres relatifs aux DANGERS POTENTIELS, aux
MESURES DE PREVENTION ET DE PROTECTION, à la
RESISTANCE AU FEU du bâtiment sont examinés selon
leur influence vis à vis des personnes et des biens.

Le risque d'incendie est calculé pour les biens et
pour les personnes selon la formule :

$$R = \frac{P}{M \cdot F}$$

avec

- P : Produit des facteurs des dangers potentiels
- M : Produit des facteurs des mesures de prévention
et de protection
- F : Résistance au feu

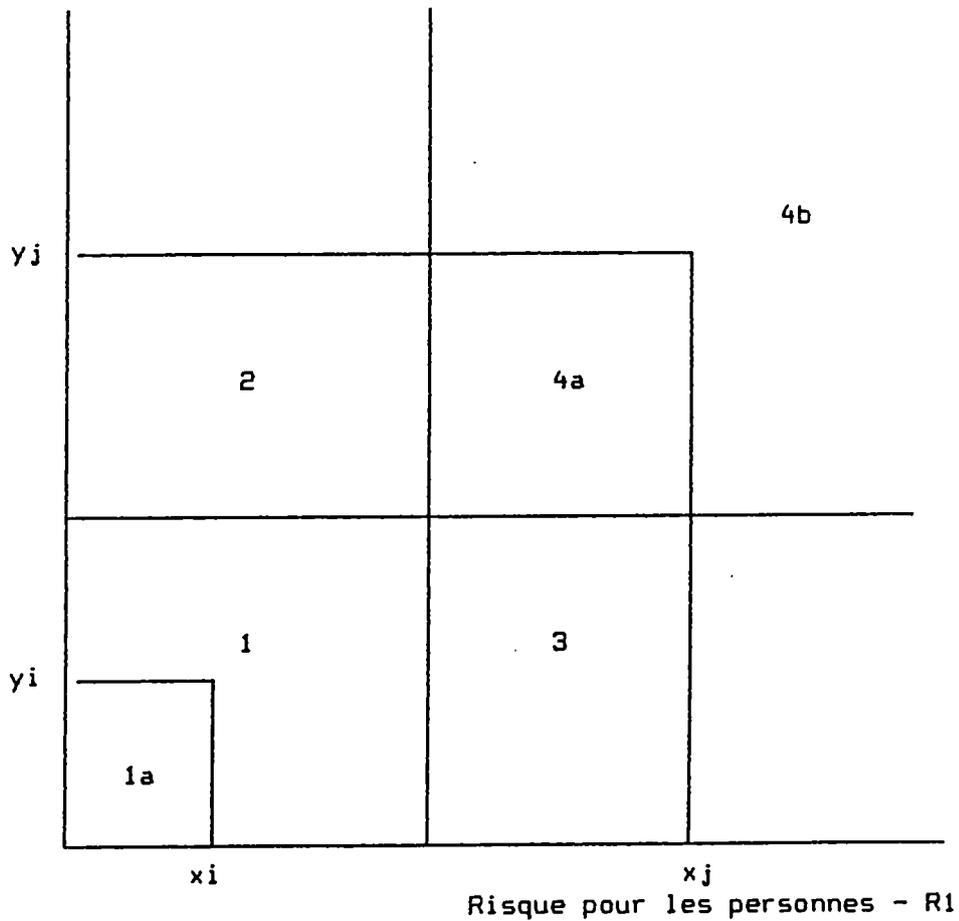
Deux valeurs sont calculées :

- R1 pour les biens
- R2 pour les personnes

Remarque : Eric ne distingue pas les mesures normales
et spéciales.

Les deux risques calculés sont ensuite portés sur un diagramme de jugement : R1 en abscisse et R2 en ordonnée. La position du point ainsi obtenu sur le repère découpé en quatre zones oriente le choix des mesures à prendre.

Risque pour les biens - R2



ZONES

1a : toute mesure supplémentaire serait superflue

1 : la sécurité incendie est acceptable tant pour les biens que pour les personnes

2 : Il est nécessaire de prévoir des mesures pour la protection des biens

3 : Il est impératif de prévoir des mesures pour la protection des personnes

4a : Améliorer la sécurité des biens, puis celle des personnes

4b : Reconsidérer la conception du bâtiment en fonction de son utilisation

Les valeurs limites de R1 et R2 peuvent être modulées en fonction des destinations :

Industrie : La valeur du risque admissible pour les biens est à adapter en fonction du risque à protéger.

$x_i = 0,5$ $x_j = 1,3$
 $y_i = 0,5$ $y_j = 1,5$

Etablissements Recevant du Public/Bureaux : Le risque pour les personnes doit être minimal, celui pour les biens peuvent être plus élevé. Mais en général pour ce type de bâtiment, il est peu élevé.

$x_i = 0,25$ $x_j = 0,5$
 $y_i = 0,5$ $y_j = 1,5$

Habitations : Le risque admis pour les personnes peut être un peu plus élevé que dans les ERP ; celui des biens doit rester dans une limite acceptable.

$x_i = 0,25$ $x_j = 0,5$
 $y_i = 1,3$ $y_j = 2$

III.1.2.2 Traitement de la résistance au feu

La résistance au feu, qui est séparée des mesures de prévention et protection n'est pas traitée avec le même détail que dans la méthode SIA, la résistance des structures porteuses n'étant pas isolée.

Le facteur de résistance au feu pris en compte est le plus petit des facteurs RF1 et RF2.

- RF1 correspond à la propagation verticale entre deux niveaux
- RF2 correspond à la propagation horizontale entre deux locaux

Un coefficient pondérateur, selon que la stabilité au feu est inférieure ou supérieure à 1 heure, est ensuite appliqué par multiplications avec des valeurs différentes pour les biens et pour les personnes.

	<u>biens</u>	<u>personnes</u>
SF < 1h	0,8	0,9
SF > 1h	0,9	0,7

L'évolution décroissante de 0,9 à 0,7 pour la sécurité

des personnes, semble curieuse à première vue. Sa raison d'être est que l'on considère qu'après 1 h d'exposition, la résistance au feu a plutôt moins d'importance pour la sécurité des personnes ; alors que l'influence sur les biens se fait toujours sentir, ne serait-ce que par les dommages subis par le bâtiment.

En effet, la méthode ERIC stipule : "La résistance au feu au-delà d'un certain seuil, favorise la sécurité des biens sans accroître notablement celle des personnes".

Ce point de vue suggère que seule l'évacuation est considérée, à l'exclusion d'une mise à l'abri dans des zones de refuges internes.

Le facteur RF1 varie de 0,75 à 1,90 selon la stabilité au feu des planchers et les surfaces d'ouverture. Le facteur RF2 a le même intervalle de variation.

Dans la méthode SIA ces deux aspects sont examinés dans les mesures de construction F2 (façades) et F3 (planchers).

F2 varie de 1,00 à 1,15

F3 varie de 1,00 à 1,30

Le facteur SIA de la résistance au feu des structures porteuses varie de 1,00 à 1,15. D'autre part SIA fixe des valeurs normales et des valeurs minimales de ce classement au feu.

III.1.2.3 Exemple

Afin de comparer les résultats de la méthodes ERIC avec ceux de la méthode SIA, nous utilisons les mêmes données d'exemple (qui ne se traduisent pas nécessairement par des coefficients identiques), et considérons que les mêmes mesures sont appliquées pour les variantes 2 et 3.

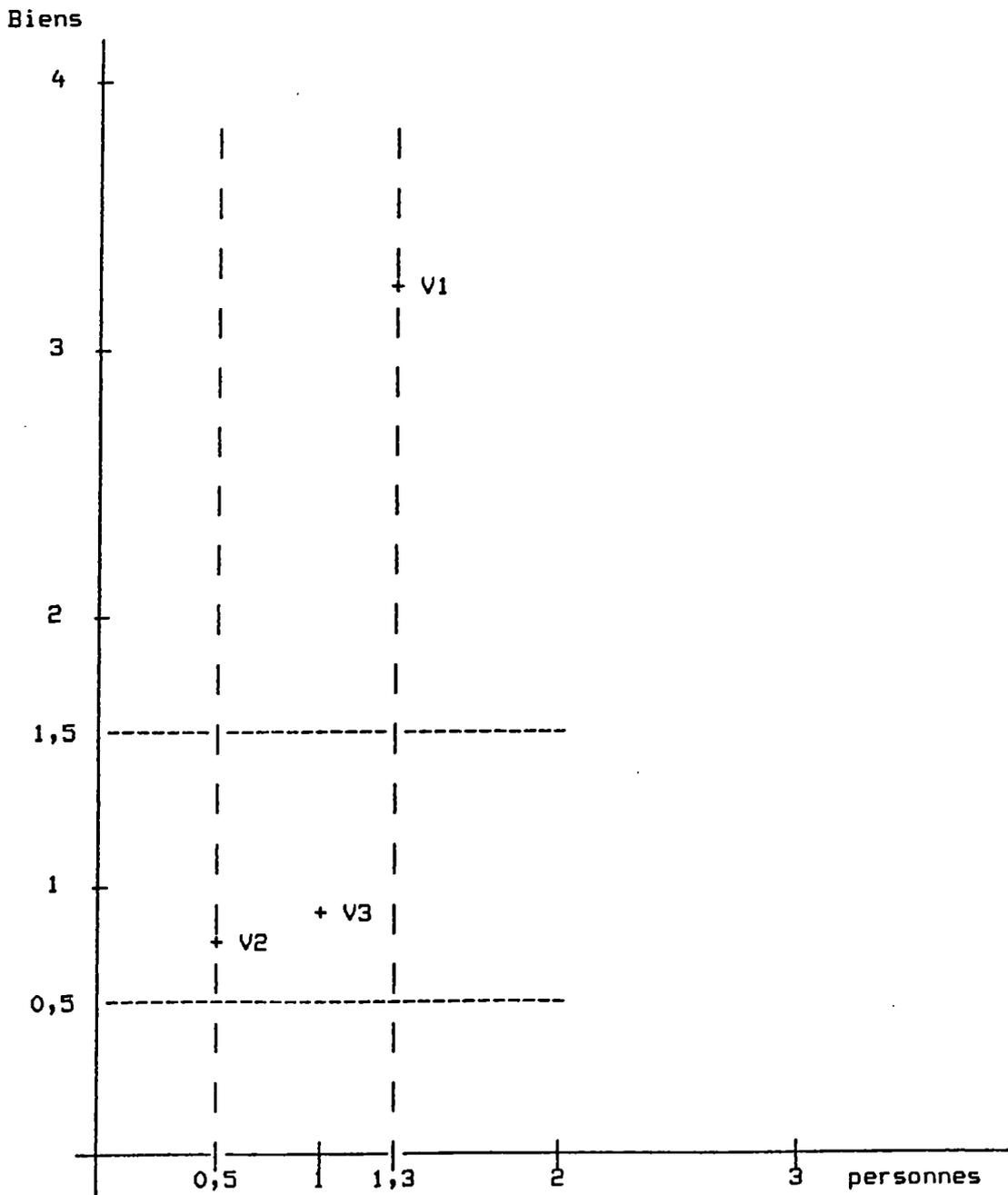
Premier calcul --> V1

La position du point V1 indique que :

- Il est nécessaire de prendre des mesures pour la protection des biens.
- La sécurité des personnes est à la limite de l'acceptable.

La position V2 indique que la sécurité des biens et des personnes est acceptable, on approche même de la zone où toute mesure supplémentaire serait superflue.

La position V3 indique que la protection des biens et des personnes est acceptable



III.1.2.4 Critique de la méthode

Sur le principe le mode de calcul est semblable à celui de la méthode SIA, et un exemple d'application sur un même cas donne des résultats semblables pour les deux méthodes. Les différences existantes peuvent se résumer ainsi :

Données d'entrée

La méthode SIA définit précisément les états des différents facteurs et fournit leurs variations numériques dans les tables. La méthode ERIC est moins précise dans les définitions et les valeurs numériques doivent parfois être obtenues par des calculs.

Résultats

La méthode SIA donne un résultat unique pour le facteur de sécurité.

La méthode ERIC donne deux résultats différents, l'un pour la sécurité des personnes et l'autre pour la sécurité des biens. Ce résultat décide des mesures à prendre. Il faut d'ailleurs que les mesures orientées vers la sécurité des personnes bénéficient à la sécurité des biens et réciproquement.

La méthode ERIC exclut l'utilisation des zones de refuges pour les occupants.

Il n'est pas fait de remarque dans l'exposé de la méthode sur les éventuelles utilisations abusives basées sur les considérations purement numériques.

Il n'est pas non plus signalé de hiérarchie, dans l'application des mesures de sécurité.

III.2 EXEMPLES DE METHODES PROBABILISTES

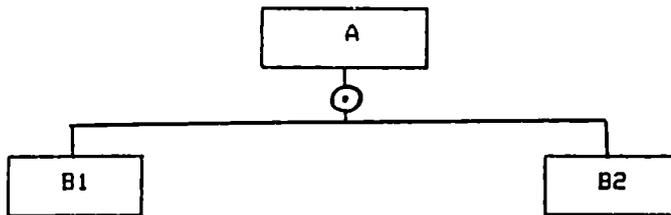
III.2.1 Méthode GSA

III.2.1.1 Arbre de décision

Les différents évènements sont reliés par des portes "ou" symbolisées par \oplus ou bien par des portes "et" symbolisées par \odot .

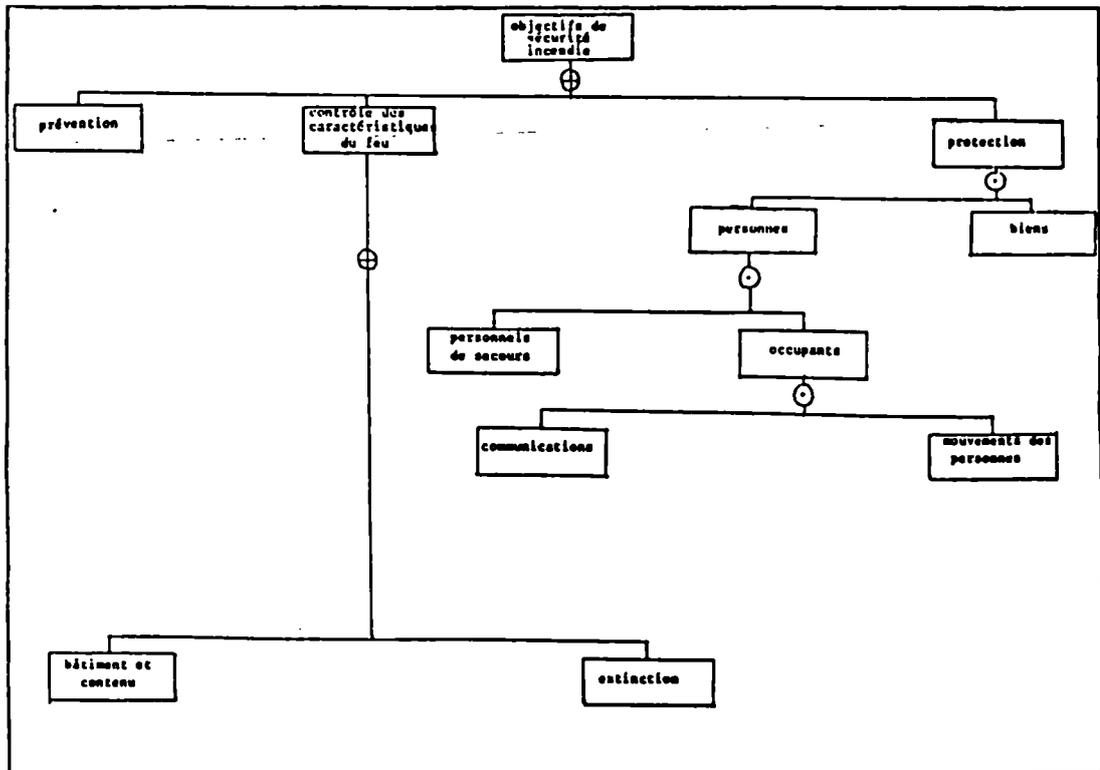
Le calcul de la probabilité pour le succès d'un évènement s'effectue selon les règles classiques de calcul des probabilités.

Exemple :



Si B1, B2 sont indépendants

$$P(A) = P(B1) * P(B2)$$



III.2.1.2 Traitement de la stabilité des structures

La méthode définit la résistance au feu comme la probabilité de maintien de la stabilité structurelle du bâtiment. Cette probabilité dépend de la sévérité du feu aux points où la structure est exposée. Les données probabilistes sont déterminées et présentées de la même manière pour la stabilité des cloisons, des planchers et des ossatures.

OBJECTIF

Dans la branche "PROTECTION", des objectifs sont fixés pour la probabilité de succès de la stabilité de la structure, relativement aux actions envisagées pour assurer la sécurité des personnes.

Il ressort que :

- En cas d'évacuation, la probabilité que la structure ne soit pas mise en échec pendant toute la durée de l'évacuation doit être d'au moins 0.9999.

Il faut remarquer que l'absence de prise en compte du facteur temps ne permet pas de vérifier la réalisation de cet objectif.

- En cas d'utilisation d'une zone de refuge, la probabilité que la stabilité du bâtiment ne soit pas mise en échec doit être au moins de 0.99999.

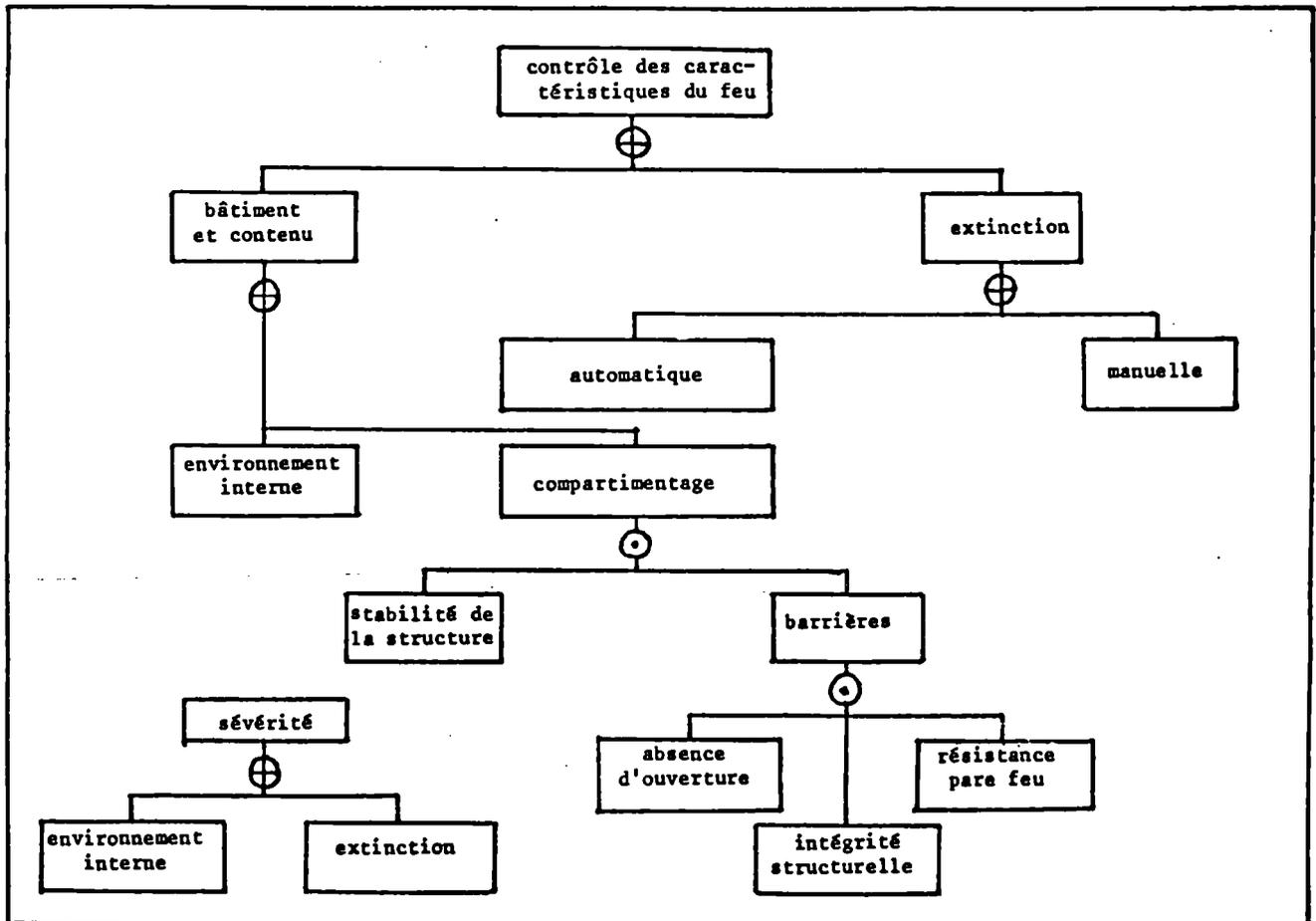
ROLE DE LA VALEUR LIMITE

Elle définit la probabilité que le feu sera éteint avant d'arriver à différents stades de propagation. Ces stades sont définis par le nombre de postes de travail, de locaux, d'étages embrasés. Cette probabilité augmente avec l'extension du feu puisque cette extension va provoquer la détection et l'intervention des services de secours. La stabilité de la structure intervient comme une valeur limite : la méthode considère l'échec du plan de protection dès que la ruine de la structure intervient. Cette ruine de la structure est donc caractérisée par une mise en danger cruciale des personnes restant dans le bâtiment, accompagnée d'une mise hors service des équipements destinés à assurer leur sécurité. Elle n'est pas définie dans la méthode comme un effondrement immédiat de l'ensemble du bâtiment.

Il faut retenir que c'est l'identification entre la ruine de la structure et l'échec du plan de protection, qui fait de la probabilité ruine de la structure, la limite de succès du plan de protection.

III.2.1.3 Exemple

On considère que la clé du problème est dans la limitation des caractéristiques du feu, en particulier sa taille et sa sévérité.



Cas traité

Le cas traité est un bâtiment de bureaux séparés par des cloisons légères (type X, voir plus bas) sans système d'extinction.

Données d'entrée :

- Fig 1 : - I : probabilité d'autoextinction
- M : probabilité d'extinction manuelle
- A : probabilité d'extinction automatique dans la phase initiale de l'incendie
- Fig 2 : - O : probabilité de compartimentage par la construction
- Fig 3 : - T : probabilité de résistance thermique d'une cloison / sévérité
- D : probabilité de stabilité de la construction / sévérité" pour les cloisons et les structures
- Fig 4 : - M : probabilité de réduction de la sévérité par l'extinction manuelle
- B : fonction de répartition de la sévérité selon l'affectation des locaux (le contenu)
- H : probabilité de succès dans la réduction de l'incendie en fonction des moyens disponibles (H est le résultat d'une combinaison entre M' et B)
- dH : conversion arithmétique de H

cloison X : Une cloison légère, non-combustible, mais sans résistance au feu. Les ouvertures constituent 10 % de la surface. Ce sont des portes ordinaires.

cloison Y : Cloison ayant approximativement 2 heures de résistance au feu, selon test ASTM 119. Les ouvertures constituent 10 % de la surface et sont munies de porte coupe-feu de classe B.

séparation entre

niveau : F ; Séparation offrant approximativement 1 heure de résistance au feu, selon test ASTM E119. Les ouvertures constituent 0.01 % de la surface et sont constituées de petits orifices éparpillés.

Structure : Fr ; Tous les éléments porteurs. Leur résistance au feu étant de 1 heure selon test ASTM 119.

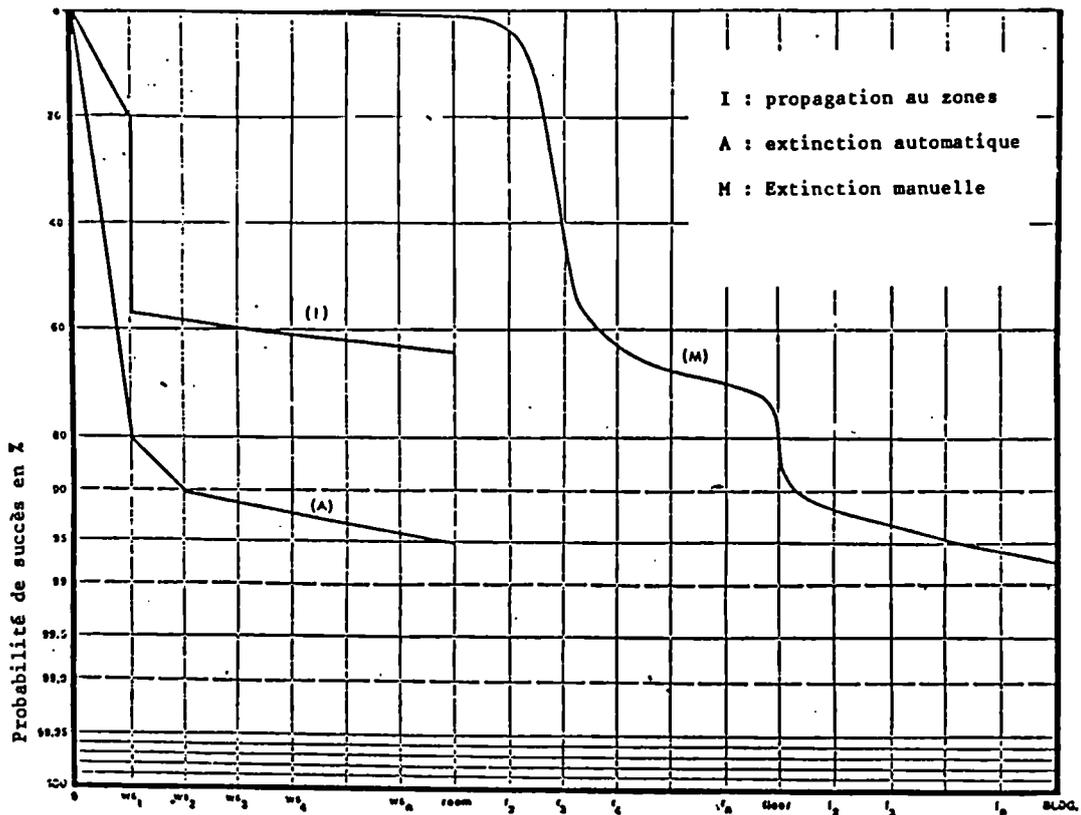


Fig 1

Modules spatiaux du bâtiment

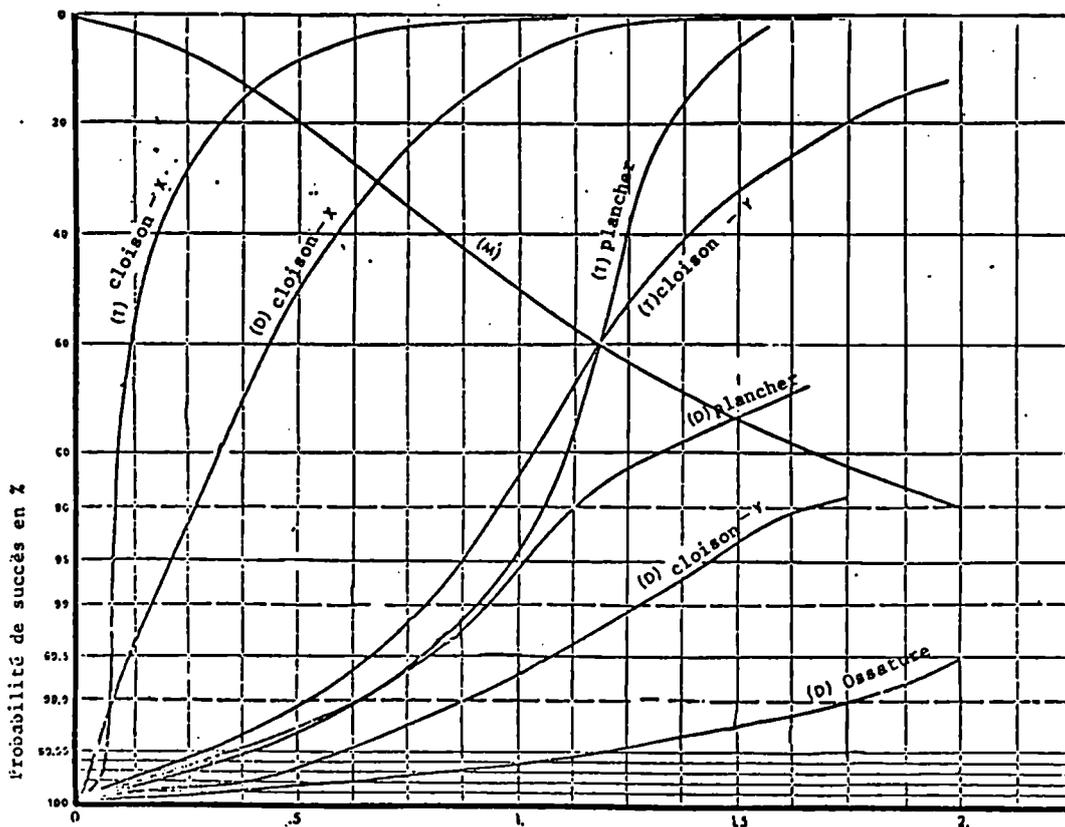


Fig 2

Sévérité en heures

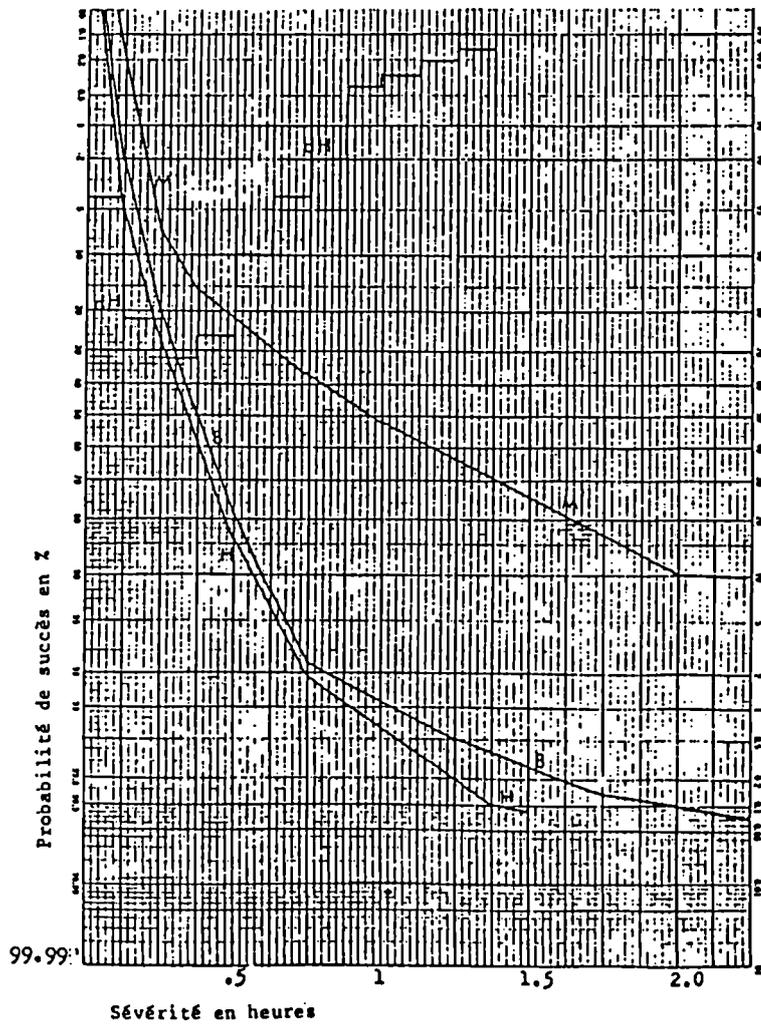
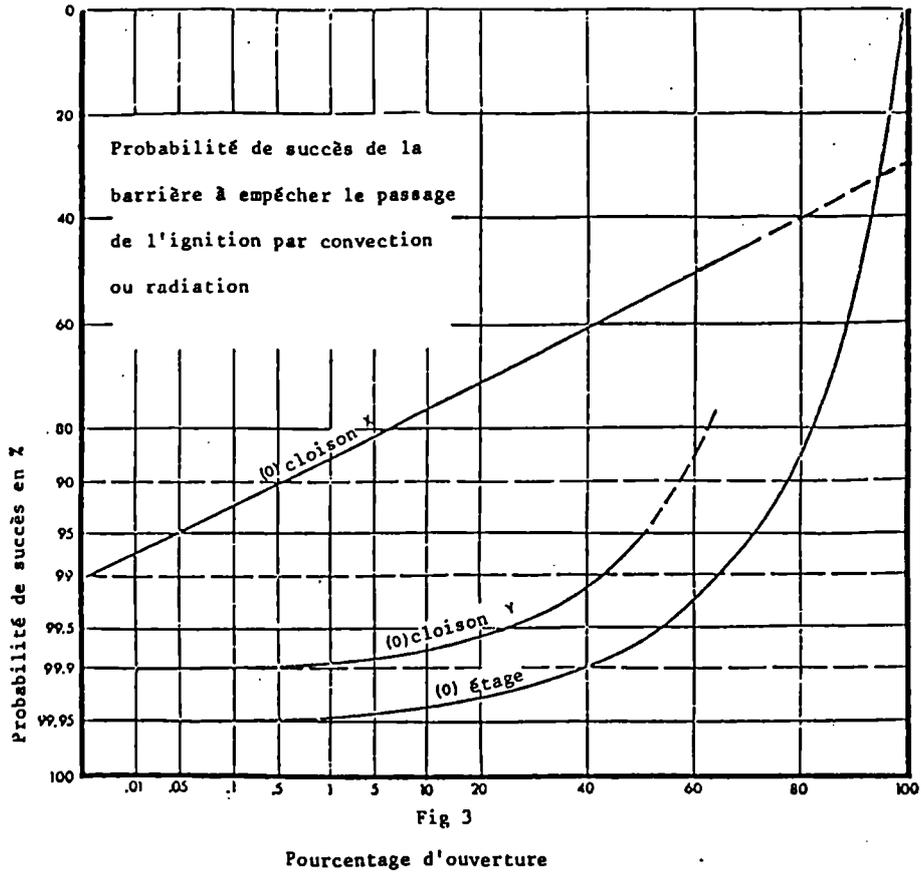


Fig 4

Résultats

Les différents stades de propagation sont identifiés par les indices :

- a : un seul poste de travail
- b : transfert au second poste
- c : deux postes de travail
- d : trois postes de travail
- e : quatre postes de travail
- f : n postes de travail
- g : local d'origine (flash-over)
- h : transfert à un second local
- i : deux locaux
- j : transfert à un troisième local
- k : trois locaux
- l : transfert à un quatrième local
- m : quatre locaux embrasés
- n : transfert à n locaux
- o : n locaux embrasés
- p : un étage embrasé
- q : transfert à un second étage
- r : deux étages embrasés

A. Probabilités conditionnelles des éléments de la structure

- résistance "coupe-feu" de la cloison (X)

$$P(T_x/H) = \sum T_x \cdot dH = 0,24$$

Increment	dH	TX	(TX)dH
0-1/8 d'heures	.04	.75	.03
1/8 - 1/4	.22	.45	.099
1/4 - 3/8	.31	.22	.068
3/8 - 1/2	.26	.12	.031
1/2 - 5/8	.10	.08	.008
5/8 - 3/4	.04	.05	.002
7/8 - 1	.02	.03	.0006
1 - 1 1/8	.004	.02	<u>.00008</u>
1 1/8 - 1 1/4	.003	.01	
1 1/4 - 1 3/8	.002		
1 3/8 - 1 1/2	<u>.001</u>		
sommations	1.00		0.23868 (0.24)

de la même manière on calcule :

- résistance "stable au feu" de la cloison (X)

$$P(D_x/H) = 0,72$$

- résistance "coupe-feu" du plancher

$$P(TF/H) = 0,998$$

- résistance "stable au feu" du plancher

$$P(DF/H) = 0,9986$$

- résistance "stable au feu" de la structure

$$P(DF_r/H) = 0,99987$$

B. Limites de ce succès

La propagation se fait sans l'intervention des systèmes d'extinction, donc d'une manière identique à I. La fin de cette première partie du graphe donne $P(Lg) = 0,66$ qui est la probabilité de Flash-over.

- la probabilité ultime de succès du bâtiment $P(L_1)$ ne peut dépasser la probabilité spécifique de succès de l'ossature porteuse.

$$\begin{aligned} P(L_1) &= P(Lg) + P(Lg) \cdot P(DF_r/H) \\ &= 0,66 + 0,34 \cdot 0,99987 = 0,99995 \end{aligned}$$

$P(L_1)$ est inférieur à 0,99999 donc le système de sécurité du bâtiment ne pourra inclure la possibilité d'utilisation d'une zone de refuge.

- la probabilité de limitation à l'étage d'origine $P(L_2)$ ne peut excéder la probabilité spécifique de succès de la séparation entre étages.

$$\begin{aligned} P(L_2) &= P(Lg) + P(Lg) \cdot P(Fr/H) \cdot P(TF/H) \\ &= 0,999 \end{aligned}$$

C. Limitation par une cloison

$$P(Lh) = P(Lg) + P(Lg) \cdot P(Fh) = 0,70$$

avec

$$\begin{aligned} P(Fh) &= P(OX) \cdot P(TX/H) \cdot P(DX/H) \cdot P(OF) \cdot P(TF/H) \cdot \\ &P(DF_r/H) \cdot P(DF/H) \end{aligned}$$

D. Embrassement d'un second local

$$P(Li) = 0,85$$

Le calcul des probabilités pour le succès de l'arrêt de la propagation à différents stades continue jusqu'à ce que l'on atteigne la valeur limite déterminée par la probabilité de succès de la stabilité de la structure exposée au Flash-over.

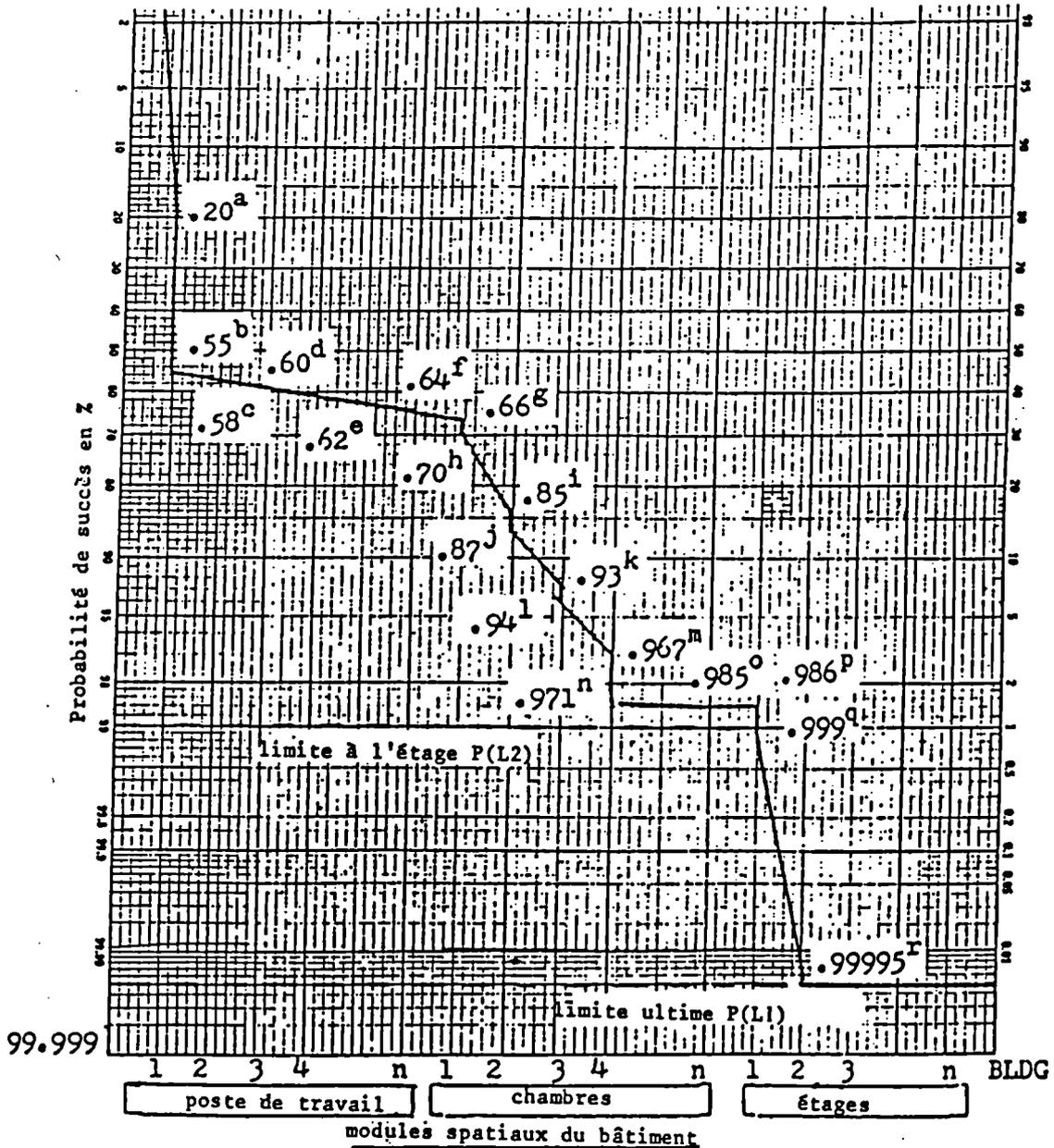


Fig 5

Résultats de l'exemple

III.2.1.4 Critique de la méthode

- Le coût de développement et de mise en oeuvre est très supérieur à celui des méthodes déterministes.
- La modélisation relativement complexe de cette méthode rend difficile l'aide à la décision. En effet, la modification d'un paramètre ne permet pas d'anticiper l'importance du changement sur le résultat global.
- La création d'une banque de données agréée par tous prendra du temps.

III.2.2 Méthode NFPA

Le développement des approches par système de la NFPA (National Fire Protection Association) et de la GSA s'est fait de façon simultanée et a permis le développement de deux arbres de décision analogues qui seraient compatibles pour l'utilisation.

III.2.2.1 Structure de la méthode

En complément à l'arbre de décision (voir page 8), le modèle, développé par la NFPA comme partie d'un projet d'étude de la sécurité des résidences, est une méthodologie permettant de donner des évaluations quantitatives des objectifs de sécurité. L'approche consiste en plusieurs modèles subordonnés. Elle décrit explicitement l'aspect spatial et l'aspect temporel du risque incendie. Le développement du feu est simulé en utilisant un modèle de transition d'états.

Le modèle incorpore des données dérivées d'essais réels pour définir la vitesse de développement du feu, la probabilité qu'il soit limité à un ou plusieurs locaux et l'étendue des dommages à la structure.

Le document présente des données sous forme de densité de probabilité pour que l'incendie atteigne des états successifs de développement en fonction du temps. Les états de développement considérés sont les suivants :

- 0 : pas de feu
- 1 : premier combustible embrasé
- 2 : second combustible embrasé
- 3 : flash-over dans le local
- 4 : second local embrasé
- 5 : étage embrasé
- 6 : second étage embrasé
- 7 : bâtiment totalement embrasé

Les données sont présentées sous forme de graphes avec en abscisse le temps en minutes et en ordonnées la densité de probabilité pour que l'état considéré soit atteint.

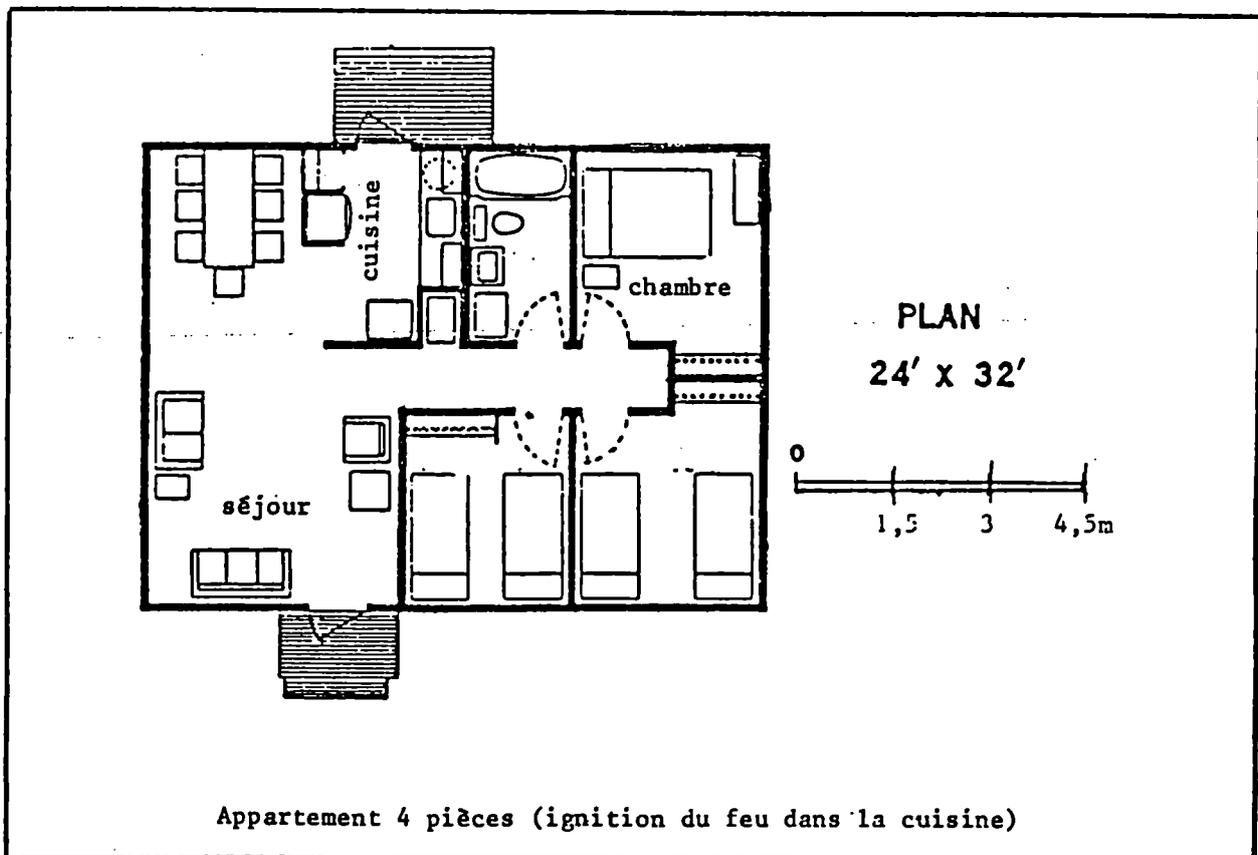
III.2.2.2 Exemple d'un feu de cuisine

3 types de revêtements muraux pour les murs de la cuisine ont été considérés :

cas 1 : tous les murs sont enduits de plâtre,

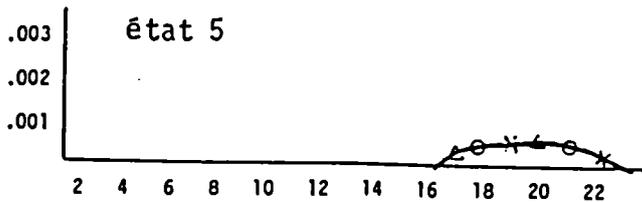
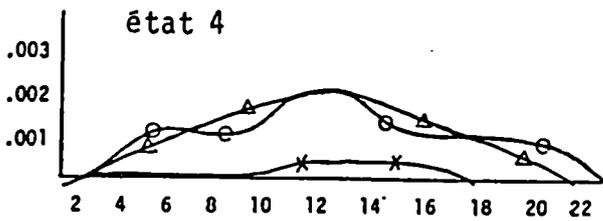
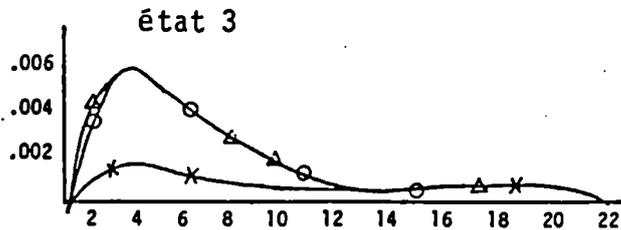
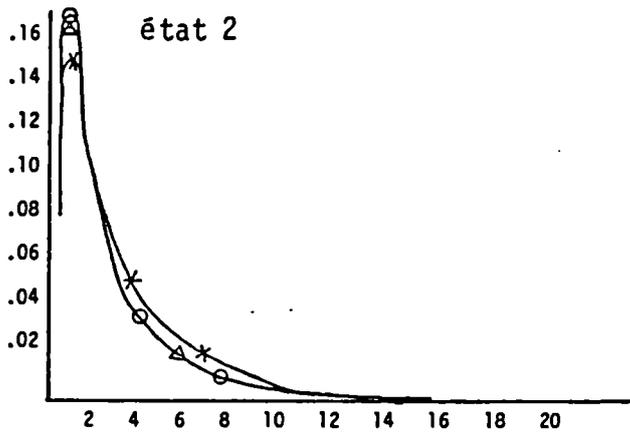
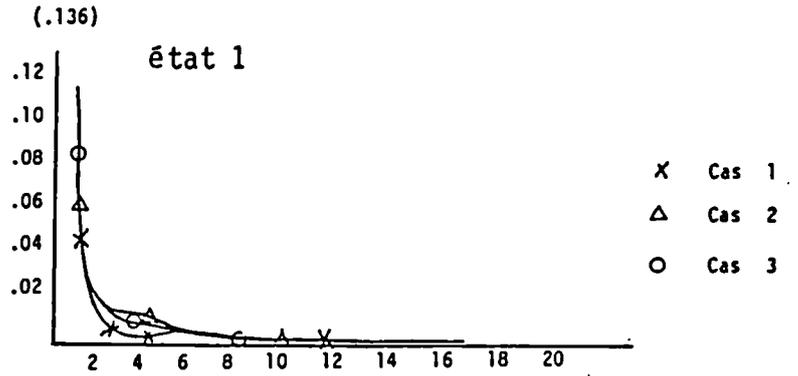
cas 2 : un des murs a reçu un revêtement en panneaux de bois, les autres sont enduits de plâtre,

cas 3 : tous les murs ont reçu un revêtement en panneaux de bois.



exemple de données
pour l'étude de la
NFPA à partir d'un
modèle de transitions
d'états.

probabilité pour que le feu soit à l'état x au temps indiqué, après ignition



temps après ignition (minutes)

distributions état/temps pour chaque type
de revêtement mural - feu de cuisine

III.2.2.3 Critique de la méthode

Les remarques faites pour la méthode précédente (méthode GSA) restent valables :

- coût de développement et de mise en oeuvre supérieur à celui des méthodes déterministes,
- la modélisation est complexe : cette méthode est donc un mauvais outil de décision,
- le problème majeur reste la création d'une banque de données.

IV. TRAVAUX DIVERS D'ETUDE PROBABILISTE

Les travaux ci-après sont repérés par le nom de leurs auteurs.

IV.1. THOR ET SEDIN

Cette méthode concerne l'évaluation du risque incendie et l'aspect coût/bénéfice des mesures de protection dans les bâtiments industriels.

L'optimisation des dépenses en sécurité est considérée en recherchant la valeur minimum de coût total de la sécurité incendie : coût de la protection + coût des pertes éventuelles. La valeur des vies humaines n'est pas intégrée dans le critère économique.

Les chiffres cités dans cette étude sont basés sur une enquête sur les feux de bâtiments industriels en Suède en 1975, dans laquelle ont été inclus les incendies ayant provoqué des pertes aux moins égales à 200.000 Sw.Cr (= 4.500 \$ U.S).

Cette étude donne une répartition des pertes selon les types de matériaux de construction (béton, bois, métal). La charge incendie présente dans le bâtiment apparaît comme un facteur prépondérant pour le chiffre des pertes monétaires.

IV.1.1 Rapport coût/bénéfice au niveau national

Quatre mesures de protection sont comparées :

- Sprinkleurs
- Exutoires de fumée
- Résistance au feu
- Compartimentage

Bien que la comparaison des différentes mesures soit basée sur les chiffres fournis par l'enquête, elle est exprimée de façon plus qualitative que quantitative.

Le tableau page suivante qualifie l'impact des différentes mesures sur la réduction des pertes, selon la classe de densité de la charge combustible.

Charge Incendie	Mesures de protection incendie			
	Sprinklers	Exutoire de fumées	Résistance au feu	Cloison- nement
forte	A	D	D	B
moyenne	B	B	C	B
faible	C	B	D	B

A : réduction probable de 80 à 100 % des pertes
B : réduction probable de 30 à 80 % des pertes
C : réduction probable de 10 à 30 % des pertes
D : réduction probable de 0 à 10 % des pertes

Le tableau est justifié par plusieurs observations, dont les principales sont :

- La seule façon d'empêcher une propagation rapide du feu dans un bâtiment industriel à forte densité de charge incendie est l'arrêt du feu à son stade initial. Cette fonction peut être assurée par les installations de sprinklers. Cette considération, ainsi que les statistiques de fiabilité des sprinklers, explique que cette mesure est particulièrement adaptée dans ce cas.
- Les exutoires n'interviennent pas uniquement dans la réduction des pertes, ils jouent un rôle important pour sécuriser l'évacuation des personnes et faciliter l'intervention des secours.
- La résistance au feu ne semble pas être un très bon investissement pour la raison suivante : La catégorie de bâtiments classés dans les fortes densités de charge incendie commence à partir d'un seuil de 400 MJ/m², ce qui peut correspondre à 2 heures de sévérité incendie sous essai normalisé. Si l'on désire réutiliser la structure après l'incendie sans avoir à effectuer trop de réparations, elle doit avoir une résistance bien supérieure à deux heures, c'est à dire plus importante que ce que la majorité des bâtiments industriels peuvent offrir. Il faut noter que sur un site industriel le bâtiment représente en moyenne 20 à 30 % de la valeur totale, et l'ossature seule 5 à 7%.

- Le compartimentage arrête la propagation du feu, mais aussi les fumées, qui sont souvent responsables d'une grande partie des pertes.

En considérant une durée de vie moyenne de 20 ans pour les bâtiments, et en distinguant trois catégories de densité de combustible, on peut estimer la réduction annuelle (en M.Sw.Cr) de pertes d'incendie qui peut être obtenue avec les différentes mesures :

Charge Incendie	Mesure de protection incendie			
	Sprinklers	Exutoire de fumées	Résistance au feu	Cloison- nement
forte	3000	200	100	1600
moyenne	1400	800	300	700
faible	150	250	50	200

D'autre part, les coûts moyens d'installation en 1975 par m² de surface de bâtiment sont indiqués pour ces quatre mesures de protection :

- Sprinkleurs : 50 à 100 Sw.Cr/m²
- Exutoires : 15 à 30 Sw.Cr/m²
- Résistance au feu : 60 à 100 Sw.Cr/m²
- Compartimentage : 10 à 20 Sw.Cr/m²

On en déduit le rapport coût/efficacité des différentes mesures au niveau national, pour les différentes mesures et pour les différentes classe de densité de combustible :

Charge Incendie	Mesures de protection incendie			
	Sprinklers	Exutoire de fumée	Résistance au feu	Cloison- nement
forte	4	0,8	0,1	10
moyenne	1	2,0	0,2	3
faible	0,1	0,6	0,03	0,8

Ces chiffres sont basés sur certaines hypothèses et les résultats ne doivent être utilisés qu'en tant qu'éléments de discussion et de réflexion.

D'après ces chiffres, on remarque que :

- Les sprinkleurs sont un investissement profitable surtout pour la catégorie de forte densité de charge incendie.
- Les exutoires sont relativement rentables dans la catégorie de densité moyenne de charge incendie.
- L'accroissement de la résistance au feu n'est pas rentable, et ne se justifie donc pas dans le contexte de la sécurité des biens entreposés dans des bâtiments à simple rez de chaussée.
- Le compartimentage ne nécessite souvent que des investissements relativement faibles comparés à l'efficacité obtenue.

IV.1.2 Rapport coût/bénéfice pour les cas particuliers

Les différences de risque, de moyens et de stratégie de traitement du risque différent, c'est pourquoi les conclusions valables au niveau national ne sont pas applicables pour les cas particuliers. Un cas de bâtiment industriel est donc étudié avec les conventions suivantes pour les différentes mesures :

- Sprinkleurs : Il doivent éteindre l'incendie au stade initial.
- Compartimentage : Il doit réduire de moitié l'étendue et le coût des pertes.
- Résistance au feu : le bâtiment doit pouvoir être réutilisé sans trop de réparations.

Les probabilités suivantes sont définies :

P₀ : Probabilité de naissance d'un incendie pendant la durée de vie du bâtiment dans l'absence de mesures spéciales de prévention.

P_s : Probabilité de succès des sprinkleurs.

P_p : Probabilité de succès du compartimentage.

P_r : Probabilité de succès de la résistance au feu.

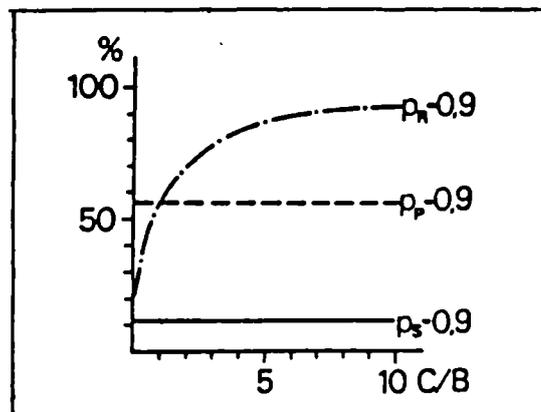
B : Valeur du bâtiment.

C : Valeur du contenu.

Le tableau suivant indique les probabilités de succès des différentes mesures, les pertes probables, et les pertes résultantes :

alternative	probabilité	pertes	pertes prévues
1	P_o	$B + C$	$P_o (B + C)$
2a) succès	$P_o P_s$	$(B+C)/100$	$P_o P_s (B + C) / 100$
échec	$P_o (1 - P_s)$	$B + C$	$P_o (1 - P_s) (B + C)$
2b) succès	$P_o P_r$	$(B + C)/2$	$P_o P_r (B + C) / 2$
échec	$P_o (1 - P_r)$	$B + C$	$P_o (1 - P_r) (B + C)$
2c) succès	$P_o P_r$	$B/10 + C$	$P_o P_r (B / 10 + C)$
échec	$P_o (1 - P_r)$	$B + C$	$P_o (1 - P_r) (B + C)$

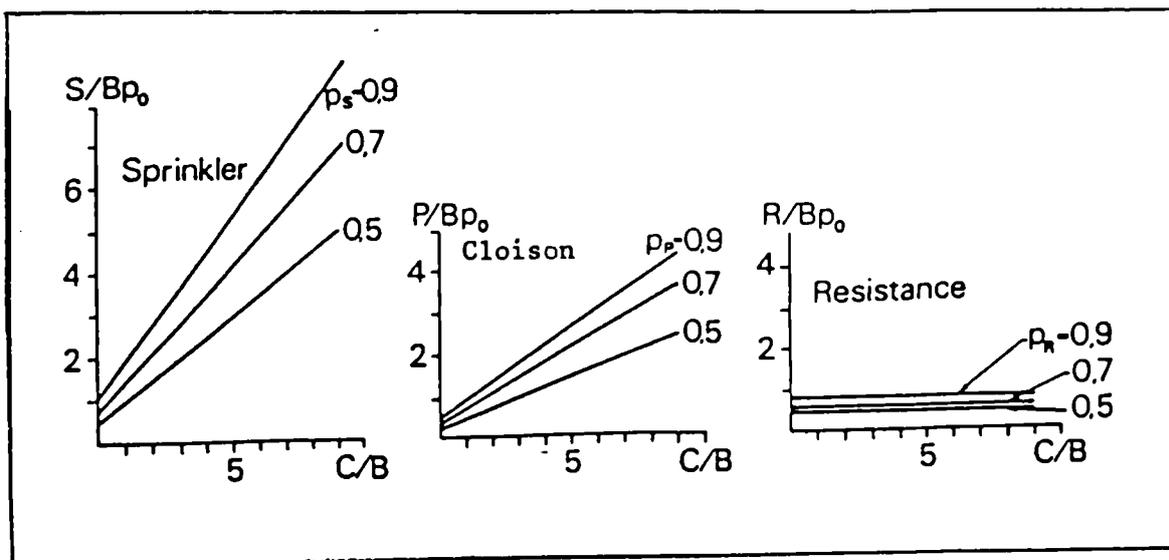
Ces pertes sont représentées par le graphe suivant :



Les sprinkleurs réduisent la perte à 11 % et le compartimentage à 50 % de la perte totale. Dans un bâtiment résistant au feu la réduction des pertes varie avec le rapport C/B. Pour une valeur de $C/B = 6$, qui est des plus fréquentes, la perte est ramenée à 90 % de la perte totale.

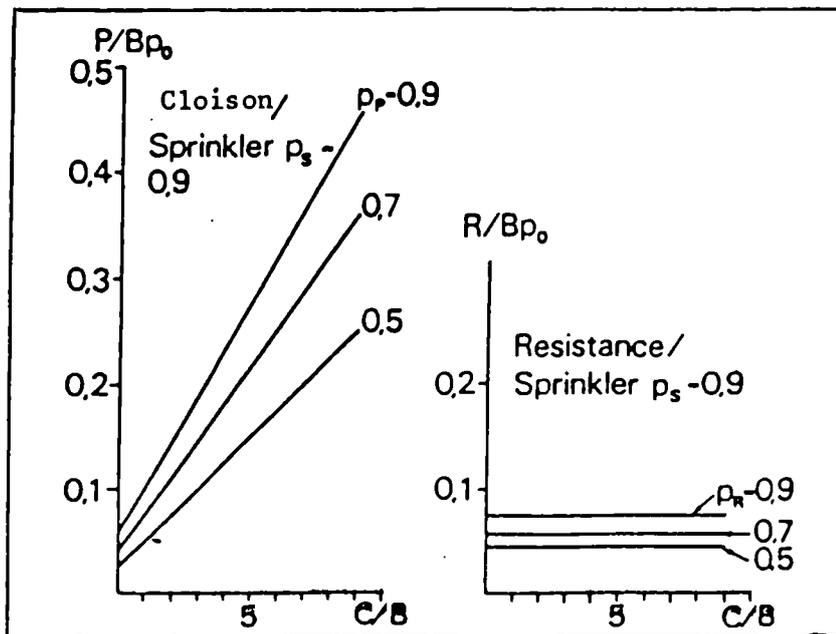
La volonté de réduire le risque par des investissements en protection, varie d'un cas à l'autre. Une base raisonnable

de discussion est que les mesures de protection ne coûteront pas plus cher que la réduction probable des pertes, compte tenu de la durée de vie du bâtiment, et de préférence coûteront moins cher. Ceci est illustré par la figure ci-dessous, où le coût maximum est donné sur l'axe vertical et exprimé en fonction du coût des mesures S , de la probabilité d'occurrence P_0 , et du coût du bâtiment B . Pour chaque mesure, différentes probabilités de succès sont considérées : 0,9 0,7 ou 0,5.



Combinaison de plusieurs mesures.

En considérant qu'une installation de sprinkleurs est déjà en place, on peut exprimer de la même façon les investissements maximum en compartimentage ou en résistance au feu.

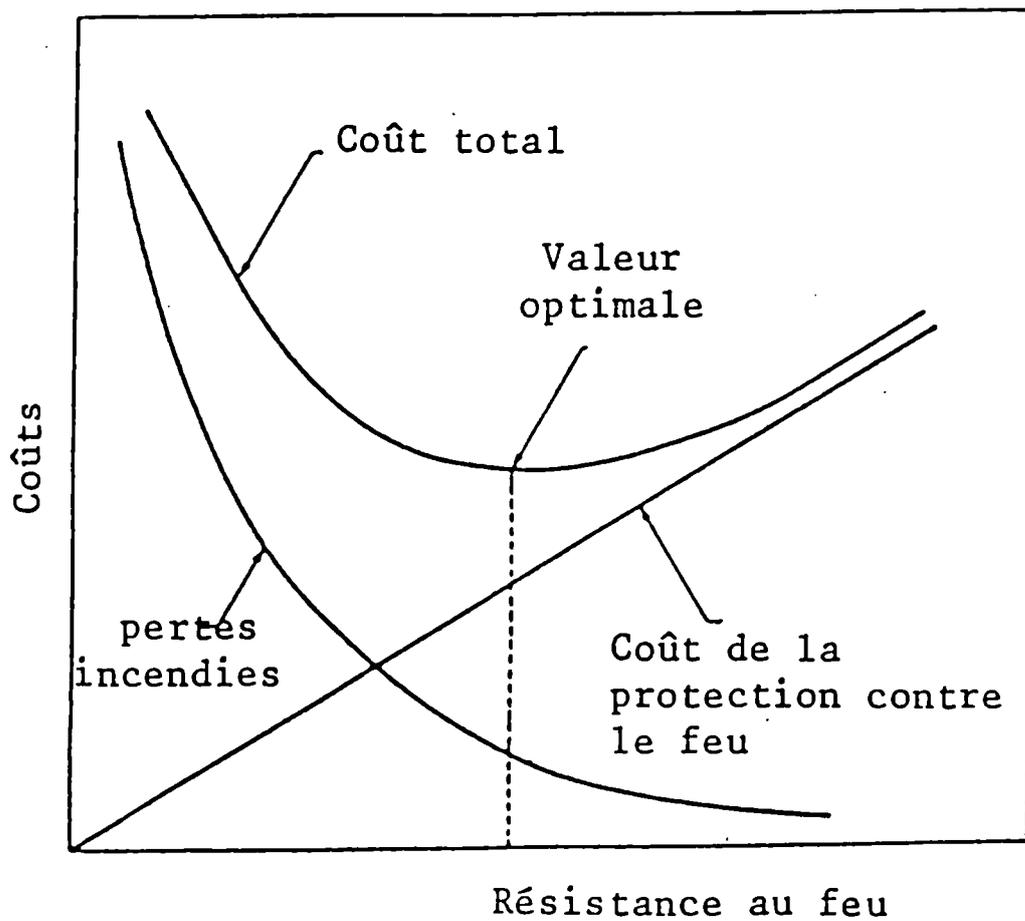


IV.2 BALDWIN

Introduction

Un modèle probabiliste de la protection au feu des structures selon des exigences de résistance au feu est développé ; il est basé sur des expérimentations, des statistiques d'incendie et une étude sur le contenu des bâtiments de bureau. Le modèle permet d'obtenir une expression de l'optimum économique de résistance au feu.

Il est clair qu'une augmentation de la résistance au feu diminue les pertes incendies. Cependant augmenter la résistance au feu augmente le coût de la protection. Le meilleur degré de résistance au feu est celui qui minimise le coût total. Cette situation est illustrée ci-dessous.

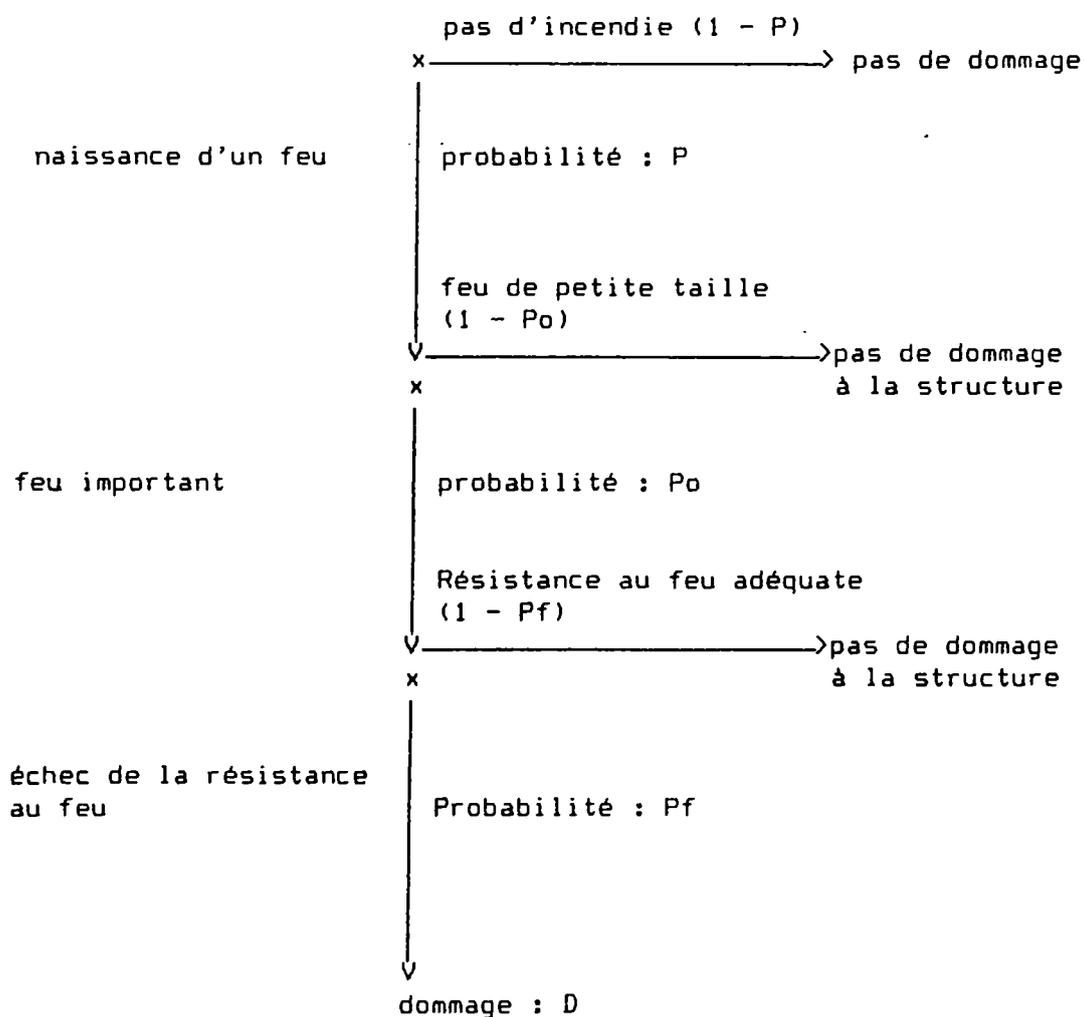


modèle mathématique

L'incidence de l'incendie sur la structure résulte de la réalisation de trois événements successifs :

- naissance d'un feu
- croissance jusqu'à un stade suffisant pour menacer la structure
- mise en échec de la résistance au feu

Ces événements sont probabilisés et constituent le modèle suivant :



La résistance au feu de la structure est la variable R et C(R) est le coût relatif à cette résistance.

Ainsi le coût total T peut s'exprimer comme suit :

$$T = C(R) + P P_o P_f D \Phi$$

ϕ est un facteur d'amortissement calculé à partir du dommage incendie annuel sur la durée de vie du bâtiment.

Estimation de C(R), P, Po, Pf, D

* C(R)

$C(R) = A + BR$ peut être considéré comme une bonne approximation.

A représente le coût fixe de la mise en place d'une augmentation de la résistance au feu.

B est le coût de l'augmentation de la résistance au feu par unité de temps.

* P, Po

La probabilité qu'un feu prenne naissance et atteigne le flash-over peut être estimé par des statistiques incendies.

* Pf

Les données de Baldwin permettent de prendre une distribution exponentielle pour la probabilité d'échec de la résistance au feu.

$$P_f = e^{-R/S_0}$$

S_0 : sévérité incendie moyenne

* D

La quantité de dommages est le paramètre le plus difficile à estimer. Tant que les effets du feu sur une structure ne seront pas entièrement compris, D restera inconnue.

Optimisation

Ainsi le coût total devient :

$$T = A + BR + PP_0 D \phi e^{-R/S_0}$$

Cette fonction a un optimum pour $dT/dR = 0$

$R = - S_0 \ln (BS_0 / P P_0 D \phi)$

Conclusion

Le modèle de Baldwin peut être un bon moyen d'évaluation de l'optimum économique de la résistance au feu.

Cependant certaines des données nécessaires ne sont pas disponibles, et d'autres sont trop peu fiables pour être utilisables.

IV.3. MODELES DE TRANSITION D'ETAT

IV.3.1 Beck

BECK distingue deux modèles majeurs d'états de transition:

- Le modèle d'efficacité de la sécurité des personnes
- Le modèle des pertes monétaires

L'objectif de l'étude est de sélectionner une stratégie de conception à partir de :

- L'optimisation du coût monétaire total (protection + pertes)
- Le respect d'un niveau de risque pour les vies humaines qui reste acceptable par la communauté.

Aucune tentative n'est faite pour incorporer le coût des vies humaines aux pertes monétaires, en raison de la difficulté à affecter des valeurs aux vies humaines. Le niveau de complexité rencontré dans le développement de modèles probabilistes à états de transition doit représenter un compromis entre le désir de précision, le manque de données dans certains domaines, la difficulté de modéliser certains phénomènes complexes associés à l'incendie de bâtiment, une appréciation de la sensibilité des résultats à certains facteurs, et la conscience que les résultats seront utilisés en premier lieu à des fins comparatives.

L'intérêt de cette étude réside dans la présentation de sous-modèles qui décrivent les interactions dans le temps entre la croissance du feu, sa détection, les interventions des différents moyens d'extinction, et l'évacuation des occupants.

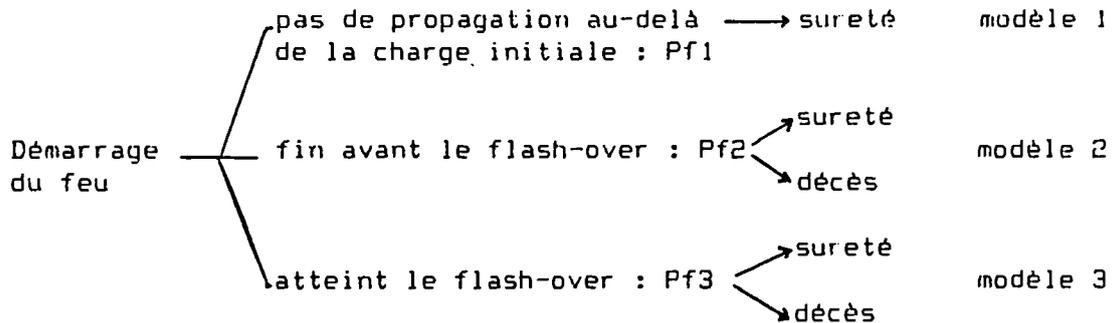
Chaque modèle est présenté par un schéma et une liste de conventions.

- Modèle de croissance de feu

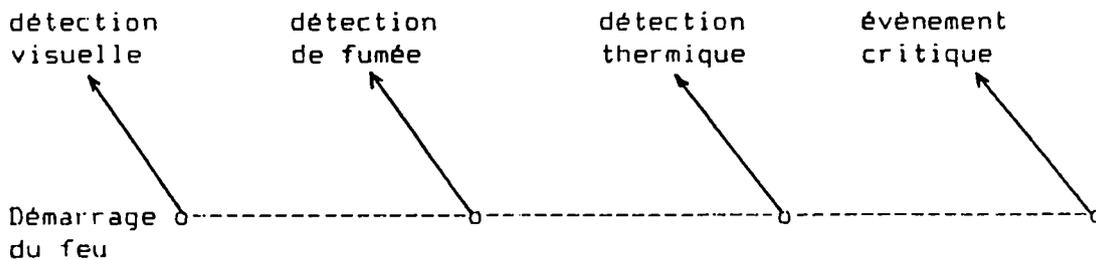
Chacun des états est caractérisé par une température au plafond et une durée moyenne.

Numéro de l'état	Description de l'état	Température au plafond	Durée (min) moyenne
0	Démarrage du feu	-	-
1	Combustion soutenue	-	8,5
2	Combustion énergique	150°C	5,6
3	Combustion interactive	150°C	0,5
4	Flash-over	450°C	5,2
5	Embrasement généralisé	800°C	-

Sur ce modèle de croissance du feu, vont intervenir les différents moyens d'extinction. Ceci est décrit par le modèle interactif de croissance et de détection du feu. Selon le stade de développement auquel est parvenu l'incendie, différents modèles sont utilisés pour décrire l'évacuation des personnes :



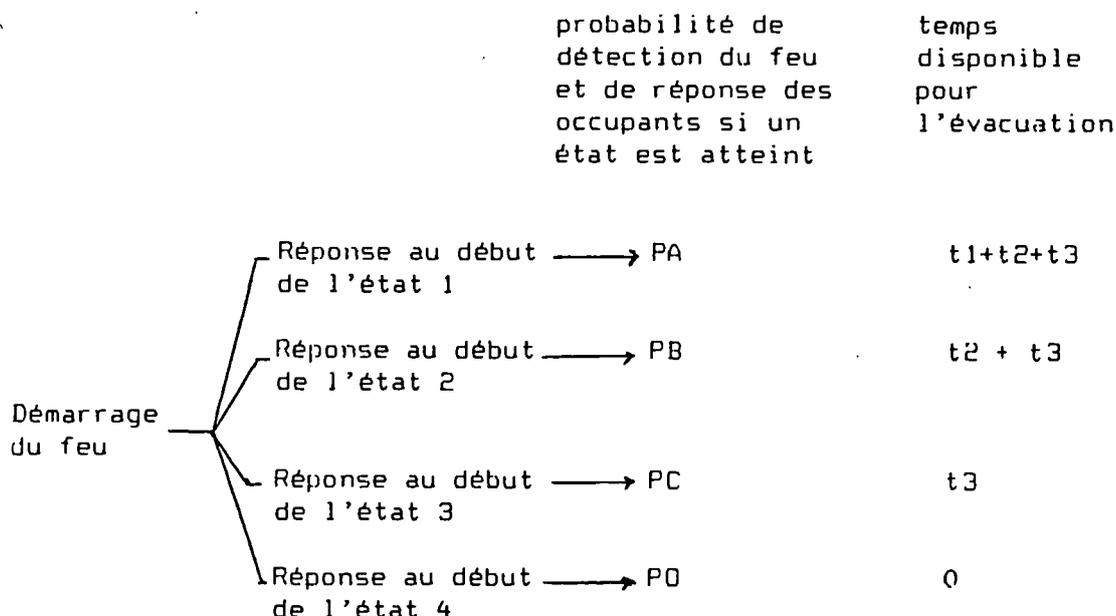
L'évacuation ne peut être initiée qu'après la détection du feu, ce qui est décrit par le modèle interactif de croissance et de détection du feu.



Etat	:	1	2	3
Description	:	combustion soutenue	combustion énergique	combustion interactive
Durée	:	t1	t2	t3

Selon l'état auquel le feu est détecté, des temps différents sont disponibles pour l'évacuation :

- modèle de temps disponible pour l'évacuation



IV.3.2 Williamson

Un objectif de WILLIAMSON est de définir un modèle et une méthode permettant de coupler les approches déterministe et probabiliste de la sécurité des systèmes appliquée à l'incendie.

Un modèle étendu d'état de transition est développé. Il contient quatre sous-modèles séparés : un Modèle de développement du feu, un modèle de propagation des fumées, un modèle de réponse humaine et un modèle de protection contre l'incendie. Les événements qui déterminent les états de développement du feu sont définis dans les termes d'une approche probabiliste en faisant de chaque événement le sommet d'un arbre de défaillance.

WILLIAMSON note que pour le modèle d'états de transition soit opérationnel il faut combiner tous les sous-modèles, et il donne le schéma d'une technique pour combiner le modèle de développement du feu avec le modèle de protection contre l'incendie.

Cette méthode reste analogue aux deux méthodes à modèle de transitions d'états (NFPA et BECK) développées dans cette étude.

V. DIFFICULTES RENCONTREES POUR RENDRE CES APPROCHES OPERATIONELLES

V.1 LES DONNEES PROBABILISTES

Les exemples de traitement effectués tant par la GSA que la NFPA, utilisent des données probabilistes formulées par des experts incendie. Ces données ne proviennent pas directement d'études statistiques. Ces données ne permettent donc pas à priori d'établir une méthode opérationnelle agréée par les différents corps intéressés.

Il est fait référence à plusieurs reprises dans l'exposé de la méthode ou des exemples d'application, aux travaux futurs qui fourniront les données nécessaires pour rendre la méthode opérationnelle et élargir son domaine d'application. Or, les méthodes de la NFPA et de la GSA ont été publiées respectivement en 1976/1977, soit depuis dix ans, et il ne semble pas que des méthodes probabilistes opérationnelles et agréées soient disponibles à ce jour.

L'une des difficultés rencontrées dans l'établissement de ces données est le nombre important de combinaisons de facteurs qui affectent l'occurrence des événements. A côté du problème posé par l'élaboration de ces données il y a celui de leur présentation. Dans la publication d'une application de l'arbre de décision de la NFPA aux bâtiments résidentiels on relève le projet de réaliser un guides de données, qui serait fourni aux utilisateurs. La présentation dans ce guide, sous forme de tables pose un problème puisque ces tables ne permettent de présenter que deux à trois facteurs.

Dans une méthode globale informatisée il serait possible d'isoler les formules de calcul de probabilités pour des événements simples dans des sous-programme. Ces sous-programmes pourraient être remis à jour avec l'évolution des connaissances et des techniques.

La prise en compte du facteur temps est indispensable pour évaluer la sécurité de l'évacuation des personnes, puisque cette évacuation se caractérise avant tout par un critère de temps.

V.2 L'interactivité entre facteurs

Un des objectifs premiers de l'approche par système est la prise en compte de l'interactivité entre différents facteurs. Cette interactivité n'est pas clairement explicitée dans les arbres de décision de la GSA ou de la NFPA.

La stabilité des structures est définies comme dépendante de la sévérité d'incendie. Les données correspondantes considèrent la probabilité de succès de la structure en fonction de la sévérité d'incendie. Cette sévérité d'incendie est exprimée en temps équivalent d'exposition à l'incendie normalisé. Il y a donc, dans la forme des données probabilistes de la résistance au feu d'un élément, l'expression de l'interactivité entre résistance au feu et sévérité d'incendie.

D'une manière générale, des relations directes d'interactivité entre facteurs de dangers où mesures de sécurité ne sont pas exprimées. Cette interactivité peut être définie à partir des influences équivalentes de différents facteurs sur l'objectif final de sécurité. C'est de cette façon que BALDWIN (par IV.2.) exprime une relation directe d'équivalence entre mesures de protection. Il montre que, en utilisant un critère économique incluant les valeurs affectées aux vies humaines, on peut réduire les exigences de résistance au feu de 50 minutes, pour des bâtiments de bureau, en procurant une protection par sprinkler ayant une fiabilité de 0,9.

Il serait souhaitable, en considérant le facteur temps dans le développement de l'incendie, de définir des relations de compensation entre différents paramètres. Les modèles de transition d'états sont plus particulièrement adaptés à ce type d'étude.

VI. CONCLUSION

Sécurité des personnes : (évacuation/zones de refuge)

Les objectifs pour la stabilité des structures sont composés en premier lieu par l'obligation d'assurer la sécurité des personnes.

- . l'hypothèse d'évacuation simple peut être appliquée dans la majeure partie des bâtiments industriels et commerciaux,
- . l'hypothèse de recours à des zones de refuge s'applique particulièrement pour les immeubles de grande hauteur,

L'hypothèse d'évacuation simple est considérée dans la méthode SIA avec une possibilité de minimiser les exigences de résistance au feu en appliquant des mesures compensatoires.

Cette hypothèse est assumée d'emblée dans la méthode ERIC.

Dans la méthode de la GSA, ces deux hypothèses correspondent à une probabilité à atteindre pour la stabilité des structures.

- en cas d'évacuation, une probabilité de 0,9999 pendant la durée de l'évacuation,
- en cas de mise à l'abri, une probabilité de 0.99999 pendant toute la durée de l'incendie.

Utilisation

Les méthodes déterministes, à faible pouvoir de modélisation permettent :

- une prise en compte des facteurs essentiels du risque,
- une quantification du risque,
- une assistance à la décision.

Ces méthodes ne permettent pas de traiter la totalité des problèmes incendies dans un bâtiment, néanmoins leur souplesse et leur rapidité d'application autorisent les études complémentaires des aspects non considérés.

Les méthodes probabilistes ont pour objectif un pouvoir de modélisation plus important ; leur pouvoir de décision en est affaibli. Elles trouvent une application dans l'aide à la décision pour une évolution de la réglementation. Cependant, la production de données probabilistes, agréées en quantité suffisante pour alimenter un système global, nécessite des moyens importants et constitue une difficulté pour l'élaboration de ces méthodes.

Stabilité des structures

La stabilité des structures n'est pas traitée avec le même soin pour toutes les méthodes. Nous retiendrons les méthodes SIA (déterministe) et GSA (probabiliste) qui prennent en compte la stabilité des structures.

complément d'étude

L'interactivité entre facteurs n'est pas nettement explicitée dans les systèmes développés. Il serait intéressant de pouvoir en vérifier la validité.

La précision d'une plage d'incertitude pour les facteurs déterministes et les probabilités permettrait d'avoir une idée de l'erreur relative sur les résultats de l'analyse.

VII. REFERENCES

- Détermination des mesures de protection découlant de l'évaluation de danger potentiel d'incendie (selon la méthode de M. Gretener)

Auteurs : Association des établissements cantonaux d'assurance contre l'incendie et le service de prévention d'incendie pour l'Industrie et l'Artisanat (1973)

- Evaluation du risque incendie par le calcul
UTI - Direction de la Recherche

Auteurs : D. Cluzel - P. Sarrat (1978)

- The Goal oriented Systems Approach
Fire Protection Curriculum, university of Maryland
by J. Watts (1977)

- The Systems Approach to Fire Protection
NFPA publications Number : SPP-36
National Fire Protection Association (1976)

- Fire safety systems analysis for residential occupancies
Users Progress report
National fire protection Association (1977)

- Principles for Risk evaluation and expected cost to benefit of different fire protective measures in industrial buildings.
by J. Thor and G. Sedin, Fire Safety Journal,
2 (1979/80) 153-166

- Economics of structural Fire Protection
BRE Symposium, Edinburg, April 1974
by R. Baldwin

- Coupling deterministic and stochastic modeling to unwanted Fire
Fire Safety Journal - march 1981
by R.B. Williamson

- Outline of a stochastic decision making model for building fire safety and protection
Fire Safety Journal, June 1983
by V.R. Beck

