



**ESDEP**

**GROUPE DE TRAVAIL 4B**

**PROTECTION INCENDIE**

**Leçon 4B.1**

**Introduction à la sécurité incendie**



## OBJECTIF

Introduire l'approche globale de sécurité incendie. Donner un aperçu général des méthodes d'évaluation de résistance au feu des éléments porteurs.

## PREREQUIS

Aucun

## LEÇONS CONNEXES

- [Leçon 4B.2](#) : Introduction à l'analyse thermique
- [Leçon 4B.3](#) : Introduction à l'analyse de la résistance au feu des structures
- [Leçon 4B.4](#) : Moyens pratiques pour obtenir une résistance au feu

## RESUME

Les pertes causées par l'incendie, le risque d'incendie et les objectifs de la sécurité incendie sont décrits comme les bases du concept de sécurité incendie incluant les concepts de structure, de surveillance et d'extinction. La rentabilité des investissements est abordée et une vue générale des méthodes d'évaluation de la résistance au feu des structures est présentée, ainsi qu'une introduction à la protection incendie active et ses effets.

# 1. APPROCHE GLOBALE DE LA SECURITE INCENDIE

## 1.1 Pertes dues à l'incendie

Une enquête internationale des pertes dues aux incendies conduit aux résultats suivants :

- pertes humaines : de 4 à 34 morts par incendie pour un million de personnes ;
- pertes financières : de 1,6 à 5,9 % du Produit National Brut par an.

Afin d'obtenir une vue générale du risque de pertes dues à l'incendie dans les immeubles, il est intéressant de le comparer avec d'autres causes accidentelles.

**Tableau 1 : Comparaisons des statistiques concernant les différentes causes d'accident (sources [1], [2], [3])**

<b>ACTIVITES</b>	<b>Taux d'accidents mortels par personne et pour une espérance de vie moyenne de 70 ans</b>
Moto (Grande-Bretagne)	4,1
Avion - Vols réguliers (États-Unis)	1,5
Maladie - moyenne (États-Unis)	0,7
Voyages en voiture (États-Unis)	0,6
Voyages en voiture (Grande-Bretagne)	0,4
Accidents ménagers - moyenne (sauf maladie)	0,02
Accidents ménagers - personnes valides	0,01
Feux dans les hôtels (Grande-Bretagne)	0,01
Feux dans bâtiments d'habitations (Grande-Bretagne)	0,001
Catastrophes naturelles (États-Unis)	0,0001

Bien que le risque de mort en cas d'incendie soit assez faible comparé aux autres causes de décès, le cas d'un incident à morts multiples, environ plus de 5 morts, semble faire l'objet d'un grand attrait de la part des médias. De ce point de vue, les incendies de bâtiments sont traités comme les catastrophes aériennes et les tremblements de terre. Toutefois, il est souhaitable que les causes de morts par incendie soient étudiées dans une optique de sécurité du public.

Une étude sur les morts par incendie a montré qu'en Europe et aux États-Unis environ 80 à 85 % des décès avaient lieu dans des bâtiments privés (habitations, immeubles) et

seulement 10 % dans des bâtiments publics. D'autre part, 95 % des morts dans les bâtiments sont dues la plupart du temps aux fumées ou dans très peu de cas à la chaleur.

Une enquête sur les feux industriels aux Pays-Bas et en France montre que les pertes financières relatives au contenu du bâtiment dépassent le coût des dommages causés au bâtiment lui-même [4].

– Pertes (contenu du bâtiment)	43 %	} 4/5
– Pertes indirectes	36 %	
– Pertes (bâtiment)	21 %	1/5

Ainsi, les dommages au contenu et les pertes indirectes sont des facteurs financiers plus importants que les dommages causés au bâtiment lui-même.

En Europe, le coût global d'un incendie inclut les éléments suivants (en ‰) :

– pertes directes en cas d'incendie (bâtiment et contenu)	2-5
– pertes indirectes	0,2 - 3
– pertes humaines	0,3 - 2
– coût des brigades d'intervention	1 - 3
– coût administratif des assurances	1 - 3
– coût des études et recherches	0,1 - 0,5
– coût des mesures de protection incendie dans les bâtiments	2 - 5

et varie entre 1,3 à 2 % du Produit National Brut. Le dernier point, le coût des mesures de protection incendie dans les bâtiments représente une moyenne d'environ 1 à 3 % du coût global du bâtiment. Dans la plupart des pays, un investissement important en sécurité incendie des bâtiments apporte une réduction des pertes humaines directes ou indirectes. Néanmoins, il est très important d'analyser l'efficacité des coûts ou en d'autres termes, le retour de l'investissement pour chaque mesure de protection contre l'incendie. C'est ce que nous verrons au § 1.5.

## 1.2 Le risque incendie

On calcule habituellement le risque incendie de la manière suivante :

$$R_{\text{feu}} = P \times L_{\text{ext}}$$

où :  $R_{\text{feu}}$  : risque incendie

$P$  : probabilité de développement de l'incendie

$L_{\text{ext}}$  : étendue probable des pertes globales

$$R_{\text{feu}} < R_{\text{accepté}}$$

$R_{\text{accepté}}$  : représente le risque cible qui varie selon les pays.

Le risque R ne peut jamais être nul et nous devons accepter un certain niveau de risque pour chaque type de bâtiment ou d'activité.

Ce niveau dépendra du nombre de personnes, de leur possibilité de s'échapper et de la valeur du contenu exposé au feu.

Le tableau 2 donne certaines indications sur la probabilité d'incendie pour différents types de bâtiments.

**Tableau 2 : Développement des incendies**

TYPE DE BATIMENT	SOURCE	Nombre d'incendie par millions de m <sup>2</sup> de surface au sol par année
Bâtiments industriels	Grande-Bretagne [5]	2
	Allemagne [6]	2
	CIB W14 [7]	2
Bureaux	Grande-Bretagne [5]	1
	États-Unis [8]	1
	CIB W14 [7]	0,5 + 5
Habitations	Grande-Bretagne [5]	2
	Canada [9]	5
	Allemagne [10]	1
	CIB W14 [7]	0,05 + 2

L'étendue probable des pertes varie selon les différents types d'activités et est fonction du degré de compartimentage, du type de bâtiment, de l'importance de la détection automatique et des dispositifs d'extinction (sprinkleurs, CO<sub>2</sub>/Halon), de la résistance au feu des structures et des services de secours.

La probabilité d'incendies incontrôlables est fortement liée aux types de mesures actives présentes, comme cela est indiqué dans le tableau ci-dessous (Atelier CIB W14 « la sécurité incendie des structures » [7]).

**Tableau 3**

<b>TYPE DE MESURES ACTIVES</b>	<b>PROBABILITE D'INCENDIES INCONTROLABLES</b>
Intervention des pompiers	100/1000
Sprinkleur	20/1000
Service de secours de résidence de standing + système d'alarme	$\geq 10/1000 : 1/1000$
Sprinkleur + Service de secours de résidence de standing	$\geq 1/10000$

### 1.3 Objectifs de la sécurité incendie

La sécurité incendie dans les bâtiments a deux principaux objectifs :

1. réduire les pertes de vies humaines dans les bâtiments incendiés et leur voisinage.
2. réduire les pertes de biens ou financières des bâtiments incendiés et de leur voisinage.

Dans la plupart des pays, afin d'atteindre ces objectifs, cette responsabilité est divisée entre le gouvernement ou les autorités civiles qui sont chargés de la sécurité publique à travers les règlements des bâtiments et les compagnies d'assurance qui sont concernées par la perte des biens via leur police d'assurance.

Souvent ces deux objectifs sont considérés comme étant incompatibles, voire même occasionnellement contradictoires. Par exemple, les sprinkleurs et les systèmes de détection automatiques semblent être considérés comme des protections de biens plutôt que des protections humaines et les compagnies d'assurance offriront généralement une réduction substantielle de la prime d'assurance quand ils seront utilisés. Ils ne sont pas souvent pris en compte dans la plupart des règlements nationaux des bâtiments. Toutefois, les faits connus montrent qu'ils sont extrêmement efficaces pour préserver les vies humaines.

En fait, les actions visant à préserver la vie et les biens sont très semblables.

Les [figures 1a](#) et [1b](#) utilisent une approche systématique pour identifier les options principales afin de réduire les coûts. Elles montrent que pratiquement toutes les options réduisent tant le risque de pertes humaines que le risque de lourdes pertes financières directes. En fait, nous devons réaliser que l'on doit finalement répondre à la sécurité incendie globale par des concepts de sécurité incendie adaptés.

## 1.4 Concept de sécurité incendie

Les concepts de sécurité incendie sont définis comme des ensembles optimaux de mesures générales (techniques, de conception et d'organisation) de protection contre le risque incendie qui permettent de remplir les objectifs bien définis, acceptés par le propriétaire, les autorités incendie et l'architecte.

Afin de développer des concepts adaptés en sécurité incendie, il est essentiel de montrer le développement habituel d'un incendie (voir [figure 2](#)).

Une autre présentation très similaire en [figure 3](#) expose les raisons de succès ou d'échec pour des mesures de protection contre l'incendie bien définies.

En analysant cette figure, nous réalisons que nous sommes capables de surmonter le risque incendie grâce à 3 concepts de base :

- un concept de « conception » acceptant la possibilité d'un embrasement généralisé dans un nombre limité de compartiments en feu.
- un concept de « surveillance » empêchant la possibilité d'un embrasement généralisé.
- un concept « d'extinction » empêchant la possibilité d'un embrasement généralisé.

### 1.4.1 Concept de « conception »

Un concept de « conception » comprend un compartimentage avec une structure ayant un niveau adéquat de résistance au feu ; cela pourrait être le meilleur choix tant que l'utilisation normale (à froid) du bâtiment permet un compartimentage par des murs et des planchers résistant au feu.

Il est admis que l'incendie peut atteindre des conditions d'embrasement généralisé avant que l'action de lutte contre l'incendie ne commence.

Le temps nécessaire de résistance au feu doit être déterminé par la condition suivante : l'incendie ne doit pas s'étendre hors du compartiment en feu. Par conséquent, la fonction de séparation et (éventuellement) de résistance mécanique des éléments du bâtiment doivent être maintenues pendant la durée prévue de l'incendie.

Quand cela est possible, l'étendue du feu doit être limitée par des murs de séparation et des planchers résistant au feu. Les composants combustibles du bâtiment doivent être conçus ou traités pour empêcher la propagation de l'incendie par combustion lente. Par exemple, dans des couvertures multicouches, la couche combustible doit être protégée par une autre couche non-combustible. La conception des façades doit empêcher les flammes de se propager d'étage en étage.

Il est important de souligner que tous les éléments de séparation comme les murs, les planchers, les plafonds, les toitures (dans certains cas) doivent remplir 3 critères afin d'obtenir un degré de classement (30, 60, 90...).

- un critère de résistance mécanique prouvant la stabilité de l'élément.
- un critère d'isolation thermique prouvant la capacité d'isolation de l'élément.
- un critère d'étanchéité prouvant qu'aucune flamme et qu'aucune fumée ne passeront au travers de l'élément.

Les éléments de structure porteurs n'ayant pas de fonction de séparation doivent seulement répondre au premier critère.

La résistance des éléments de bâtiment est généralement requise dans des codes où elle est alors exprimée en unité de temps.

Le temps requis en matière de résistance au feu est toujours donné en termes de multiples de 30 mn (par exemple 30, 60, 90 mn) selon l'incendie conventionnel ISO 834. Cela signifie qu'un élément peut remplir sa fonction pendant un temps requis sous une exposition à la température définie par la norme ISO 834.

Les bâtiments de bureaux à Londres sont d'excellents exemples de ce type de concept.

La relation temps-température d'un incendie conventionnel diffère sensiblement de celle d'un incendie naturel mais des procédures modernes de conception en incendie permettent de déterminer une résistance au feu lors d'incendies naturels comme le montre le § 1.5. Le critère de temps ne doit pas être interprété comme le temps permettant aux occupants de s'échapper ou aux pompiers d'intervenir.

Pour les structures et leurs activités, il est souvent plus efficace d'utiliser des concepts alternatifs basés sur le fait d'éviter un embrasement généralisé grâce à des mesures actives de protection au feu. Ces mesures actives sont basées sur un concept de surveillance ou d'extinction.

#### 1.4.2 Le concept de « surveillance »

Le concept de surveillance repose sur l'utilisation d'appareils de détection automatiques et sur une transmission d'alarme automatique vers un service de secours adéquat (24 h/24) plutôt que vers un service de secours du site.

Un concept de surveillance ([figure 4](#)) qui entraîne une résistance au feu limitée ou nulle, peut représenter le meilleur choix quand l'utilisation normale (conception initiale) d'un bâtiment fait appel à un minimum de compartimentage.

Cela est plus particulièrement applicable pour des activités ayant des densités de charge incendie réduites, pour des bâtiments de petite et moyenne hauteur pour lesquels les incendies pourront se développer lentement et où il est possible de trouver un service de secours efficace et rapidement mobilisable.



### 1.4.2.1 Détection au feu

Les systèmes d'alarme automatiques sont déclenchés par la fumée, la chaleur ou les flammes. Ils fonctionnent mécaniquement ou par des systèmes électriques ou électroniques. La préférence est donnée à la détection des fumées étant donné que c'est, en général et de loin, le moyen le plus efficace. Quand les détecteurs se mettent en route, une alarme se déclenche. Pour une efficacité maximale, l'alarme doit être reliée jour et nuit à une station proche de service de secours. Les systèmes d'alarme sonores déclenchant des sirènes sont pratiquement les seuls moyens contre les incendies criminels.

Les sprinkleurs jouent le rôle d'appareil d'extinction et de système d'alarme « lent » (détecteur de chaleur).

### 1.4.2.2 Lutte contre l'incendie

L'efficacité d'une lutte contre l'incendie dépend surtout de la rapidité d'arrivée des sapeurs-pompiers et de l'accessibilité au foyer d'incendie.

Le moyen le plus facile est l'utilisation d'extincteurs manuels contre l'incendie si les personnes qui détectent l'incendie sont toutefois capables d'utiliser cet appareil.

Les services de lutte contre l'incendie peuvent être des sapeurs-pompiers professionnels ou privés (sur place). Les sapeurs-pompiers privés ont l'avantage de connaître les lieux et ont des distances plus courtes à parcourir pour atteindre le feu, mais quels que soient les services de secours, il est essentiel d'avoir une infrastructure d'accès pour leurs véhicules. Pour les sprinkleurs comme pour les brigades d'incendie, une réserve d'eau suffisante est nécessaire et des précautions spéciales doivent être prises en hiver. Dans un compartiment, le rayon d'action efficace pour les pompiers est jusqu'à 20 m.

### 1.4.3 Le concept « d'extinction »

Le concept d'extinction repose sur l'utilisation d'appareils d'extinction automatique tels que sprinkleurs, CO<sub>2</sub> ou système Halon avec une transmission d'alarme automatique à un service de secours adéquat ainsi qu'au propriétaire (voir [figure 5](#)).

Le concept d'extinction avec une résistance au feu limitée ou nulle, peut représenter le meilleur choix quand l'utilisation normale (conception initiale) d'un bâtiment fait appel à un minimum de compartimentages. Cela est d'autant plus applicable pour des activités avec des densités de charges incendie moyennes ou fortes et des incendies se développant rapidement.

Les propriétaires de bâtiments sont effrayés par les dommages que ce genre de système peut créer du fait de l'eau qui se déverse sur le matériel entreposé ou sur les machines.

Mais les sprinkleurs se déclenchent seulement localement, lorsque la température atteint une limite critique de 70 à 140°C. On doit noter que 75 % de tous les incendies dans des

locaux équipés de sprinkleurs sont contrôlés par une à quatre têtes de sprinkleurs au maximum.

Cela représente environ 50 m<sup>2</sup> arrosés par tête de sprinkleur ouverte. Grâce à un système de transmission automatique d'alarme, le propriétaire et les services de secours sont informés en même temps. Il est important de savoir que les systèmes de détection et d'extinction automatiques doivent être vérifiés une à deux fois par an par des spécialistes.

Les concepts alternatifs de surveillance et/ou d'extinction sont de plus en plus acceptés dans de nombreux pays. La brochure « l'acier et la sécurité au feu : une approche globale » éditée par le Comité de Promotion de l'Acier d'EUROFER, présente une étude dans laquelle ces concepts alternatifs ne nécessitant que peu voire aucune exigence de résistance au feu, sont de loin très acceptés au niveau international.

## 1.5 Rentabilité des investissements

Le type d'activité et le choix d'une conception initiale de la structure sont les variables principales déterminant la somme des mesures de protection et, par conséquent, le coût du concept total de sécurité incendie. Le concept de conception initiale et le concept de sécurité incendie doivent être intégrés dès le début afin d'obtenir un niveau de sécurité optimal avec un minimum d'investissements. Ce but peut seulement être atteint grâce à un dialogue entre les maîtres d'œuvres et les autorités chargées de la sécurité incendie dès le début de l'étude du projet.

Une analyse préliminaire coûts-bénéfices indique que la rentabilité des investissements des différentes mesures de sécurité incendie est variable.

La [figure 6](#) montre que lorsque le niveau de dépenses et donc le niveau de mesures de sécurité incendie sont élevés, les prévisions de pertes dues à l'incendie vont baisser. Cette relation est indiquée schématiquement par la ligne en pointillés. La courbe pertes-dépenses a une forme hyperbolique qui signifie que, au-delà d'un certain point, il y a peu d'avantages à augmenter le niveau de protection.

De la relation entre prévisions de dépenses et prévisions de pertes, il est possible de déduire la relation entre dépenses et coût global dû à l'incendie (= prévisions de pertes + dépenses).

*Voir courbe en trait plein dont le minimum correspond à la solution optimale.*

Dans ce contexte, il doit être souligné qu'en général les dépenses ne doivent pas chuter au-dessous d'un certain minimum eu égard aux exigences de sécurité des personnes ou au niveau minimum d'acceptabilité pour les assureurs. Ces aspects sont également indiqués sur cette figure.

Enfin, il faut attirer l'attention sur les critères qui permettent de juger le comportement de la structure en cas d'incendie. En appliquant des mesures avec l'idée d'améliorer la sécurité incendie d'un bâtiment, il sera certainement nécessaire de considérer quel sera

l'effet ultime de telles mesures. On sait par expérience que des incendies majeurs de bâtiment peuvent endommager la structure à un tel degré que la démolition du bâtiment devient nécessaire, même s'il ne s'est pas effondré. L'argent dépensé pour le protéger d'un effondrement sera alors perdu.

Dans un tel cas, il serait préférable ou bien de limiter les mesures de protection incendie simplement à un niveau permettant la fuite des occupants en cas d'incendie ou bien de choisir un concept de sécurité incendie alternatif.

Pour une analyse détaillée coûts-bénéfices, une approche différente est nécessaire en calculant les coûts annuels de sécurité incendie et en cherchant à les optimiser par comparaison entre les différents concepts de sécurité incendie. La formule de base est la suivante :

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Coûts annuels de} \\ \text{sécurité incendie} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{somme de tous les} \\ \text{investissements pour} \\ \text{la sécurité incendie} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{taux d'intérêt} \\ \text{de l'emprunt (en \%)} \end{array} \right] +$$

$$+ \left[ \begin{array}{l} \text{coût de la maintenance} \\ \text{régulière par année} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{primes annuelles pour le concept de sécurité incendie choisi} \\ \text{(incendie, catastrophes naturelles, responsabilité civile,} \\ \text{cessation d'activité)} \end{array} \right]$$

Dans la plupart des cas, les concepts alternatifs offriront une meilleure rentabilité des investissements qu'un concept de « conception ». Pour les architectes et les ingénieurs, la question cruciale consiste en la définition du niveau d'exigence de résistance au feu qu'ils auront à remplir, tout en prenant en considération l'approche globale de sécurité incendie et l'optimisation de l'efficacité des concepts adéquats de sécurité incendie moderne.

## 2. VUE D'ENSEMBLE DES METHODES D'EVALUATION DE LA RESISTANCE AU FEU DES ELEMENTS PORTEURS

La résistance au feu est régie par deux modèles de base :

- un modèle d'échauffement,
- un modèle mécanique,

qui ont normalement 3 à 4 niveaux de sophistication.

Les méthodes traditionnelles d'évaluation sont basées sur une courbe incendie conventionnel pour les **modèles d'échauffement**, mais de plus en plus, des méthodes quantitatives fondées sur le développement « naturel » des incendies sont disponibles.

Le tableau 4 donne les trois méthodes d'évaluation existantes où :

- $F_{\text{élément}}$  est la résistance au feu de l'élément choisi, en mn,
- $F_{\text{requis}}$  est la résistance au feu requise.

Les **méthodes d'évaluation 1 et 2** sont des **systèmes de classification**.

$F_{\text{requis}}$  et  $F_{\text{élément}}$  sont généralement rangés par fichiers ou par calculs dans des classes de résistance au feu commençant à 15 ou 30 mn et continuant par étapes de 30/60/90 mn.

**La méthode d'évaluation 3 (a + b)** représente des **méthodes d'ingénierie** utilisant des modèles de feu naturel. La preuve de la stabilité de la structure doit être fournie.

Chaque méthode est discutée avec les améliorations qu'une approche plus réaliste apportera.

### 2.1 Exigences actuelles de résistance au feu : méthode d'évaluation 1

Les **règlements nationaux**. Ils utilisent toujours des classes de résistance au feu (15/30/60/90 mn) qui représentent le temps pendant lequel un élément isolé va résister à l'action d'un **incendie conventionnel** tel qu'il a été défini par l'exposition à la chaleur donnée par l'ISO 834. Le niveau d'exigence est fonction du nombre d'étages et selon le pays, peut être une fonction de l'activité d'un bâtiment ou de la charge incendie.

## 2.2 Exigence de résistance au feu basée sur le Temps-Equivalent : méthode d'évaluation 2

Le concept d'une durée d'incendie équivalente ou efficace n'est qu'une première étape, mais néanmoins importante, vers une approche plus différenciée.

Le temps équivalent est une quantité qui établit un rapport entre une exposition au feu non standardisé ou naturel et l'incendie conventionnel tel que cela est montré à la [figure 7](#). Elle peut être calculée si la densité de charge incendie et les conditions de ventilation des compartiments incendiés sont connues.

Dans des concepts plus avancés de temps équivalent, les effets des propriétés thermiques des éléments du bâtiment environnant le compartiment en feu sont pris en compte.

Pour des activités habituelles et leurs types de compartiment en feu, le temps équivalent  $T_e$  donne une approche raisonnable de la réalité de l'incendie.

La résistance au feu demandée est :

$$F_{\text{requis}} = \gamma \times T_e$$

où  $\gamma$  est le facteur partiel de sécurité pour tenir compte de l'incertitude des modèles. Pour des cas normaux,  $\gamma$  est souvent pris égal à 1 étant donné qu'une partie de la charge incendie brûle hors du compartiment en feu et que la combustion n'est jamais totale.

Cas normaux :  $F_{\text{requis}} = T_e$

pour  $T_e$  calculé en supposant que 100 % de la combustion de toutes les charges incendie brûle à l'intérieur du compartiment en feu.

Habituellement,  $F_{\text{requis}}$  est fixée à une durée suivant 15 ou 30 mn (15/30/60/90...).

Cette méthode a pour but d'assurer que les éléments désignés par  $\gamma \times T_e$  résisteront à l'action d'un incendie naturel sans s'effondrer si aucune équipe de sapeurs-pompiers n'intervient.

C'est la principale caractéristique du concept du temps équivalent.

Un avantage important de ce concept est que la somme énorme de connaissances et de données connues par suite d'essais d'incendies antérieurs peut être utilisée afin de vérifier les résultats d'un calcul.

Plusieurs pays ont déjà adopté officiellement cette méthode du temps équivalent d'une manière plus ou moins développée.

Le Guide de Conception de sécurité incendie en construction préparé par l'Atelier du CIB W14 [7] donne la formule suivante pour le temps équivalent :

$$T_e = c \times w \times q_f$$

- où :
- c est le facteur de conversion représentant l'effet d'inertie thermique (absorption de la chaleur) du compartiment en feu.
  - w est le facteur de ventilation représentant les ouvertures (fenêtres, portes, interstices, lucarnes, impostes) qui permettent à la chaleur de quitter le compartiment en feu et à l'air frais d'y entrer.
  - q<sub>f</sub> est la densité de charge incendie du plancher du compartiment incendié. L'annexe 1 du Guide de Conception donne une vue générale détaillée de l'évaluation individuelle et des valeurs statistiques de densités de charge incendie.

Le tableau suivant donne les variations des valeurs moyennes pour une densité de charge incendie variable en MJ/m<sup>2</sup> de certaines activités bien définies (facteur de combustion 1,0).

Habitations	330 à 780 MJ/m <sup>2</sup>	
Hôpitaux	100 à 330 MJ/m <sup>2</sup>	
Hôtels	310 à 330 MJ/m <sup>2</sup>	
Bureaux	80 à 550 MJ/m <sup>2</sup>	(à l'exception des archivages, stockages, bibliothèques et pièces spéciales)
Écoles	215 à 340 MJ/m <sup>2</sup>	(à l'exception des couloirs, salles de réunion, locaux techniques, stockages)
Centre commerciaux	400 à 900 MJ/m <sup>2</sup>	(à l'exception des États-Unis)
Parkings	200 à 300 MJ/m <sup>2</sup>	

La densité de charge incendie immobilière pour ces activités varie entre environ 50 MJ/m<sup>2</sup> (parkings) et 450 MJ/m<sup>2</sup> (salles des professeurs dans une école).

Globalement, la densité totale de charge incendie peut être apparentée aux classes suivantes :

Basse	moins de 250 MJ/m <sup>2</sup>	parkings (pas d'embrasement généralisé)
Médium	500 à 1000 MJ/m <sup>2</sup>	habitations, hôpitaux, maisons, écoles, bureaux
Haute	1000 à 2000 MJ/m <sup>2</sup>	fabrication, stockage de biens combustibles < 150 kg/m <sup>2</sup>
Très haute	plus de 2000 MJ/m <sup>2</sup>	stockage, entrepôt (magasins)

La méthode du temps équivalent a été introduite à un niveau international par l'Atelier du CIB W14 sur la sécurité incendie des structures [7]. Les mesures actives ont été prises en considération.

## 2.3 Méthodes de conception basées sur les incendies naturels : méthode d'évaluation 3

### 2.3.1 Introduction

Ces méthodes seront seulement introduites comme méthode finale et sophistiquée pour définir le niveau correct de résistance au feu des structures.

Ces méthodes de calcul assistées par ordinateur sont possibles et permettent d'introduire n'importe quel modèle d'exposition à la chaleur.

Dans chaque cas, la réalité de l'incendie doit être introduite à travers des modèles d'exposition à la chaleur plus ou moins simplifiés. Deux types de modèles sont souvent utilisés.

- le modèle de feu de compartiment avec une distribution uniforme de température dans le compartiment en feu après apparition d'un embrasement généralisé.
- les modèles de distribution non uniforme de température dans un compartiment en feu (modèles de zones et de champs).

Toutes ces méthodes d'ingénierie sont basées sur un modèle d'échauffement amélioré en relation avec un modèle de comportement mécanique amélioré. La vérification consiste à prouver que la structure reste stable sous l'action d'un feu naturel pour les charges présentes lors de l'incendie.

Il faut insister sur le fait qu'avec peu de modifications la méthode d'évaluation 3 peut aussi être utilisée pour des bâtiments où seulement une période limitée, suffisamment longue pour permettre l'évacuation et l'intervention des secours, est requise.

L'intérêt de ces méthodes de conception incendie sera certainement renforcé par la nouvelle génération des Eurocodes [8, 9] qui introduisent l'incendie en tant que situation accidentelle.

### 2.3.2 Incendies de compartiment = méthode d'évaluation 3a

Cette méthode s'applique aux compartiments en feu de la dimension des hôtels, bureaux, écoles, habitations, etc. avec une distribution uniforme de la charge incendie. L'hypothèse d'une distribution uniforme de la température dans le compartiment en feu est alors correcte. Cette méthode introduit les principaux facteurs suivants :

- la somme des matériaux combustibles distribués uniformément dans le compartiment incendié = densité moyenne de la charge incendie (permanente et mobile) ;
- la vitesse de combustion des différents matériaux combustibles ;
- la géométrie du compartiment incendié ;
- la ventilation du compartiment incendié ;
- la réponse thermique des murs et des planchers fermant le compartiment incendié.

Certains facteurs peuvent être approximatifs ou même inconnus. Deux variables auront toujours une grosse influence :

- la densité de charge incendie.
- la ventilation du compartiment incendié.

L'influence de la densité de la charge incendie et de la ventilation sur la température des gaz du compartiment est donnée en [figures 8a](#) et [8b](#). Elles correspondent à une théorie simplifiée de feu de compartiment en tant que modèle de base d'exposition à la chaleur pour l'ingénierie en sécurité incendie. Les théories actuelles de feu de compartiment négligent la période de préembrasement généralisé, le comportement mécanique des structures étant souvent gouverné par une évolution de température post-embrasement généralisé.

### 2.3.3 Modélisation de l'incendie - méthode d'évaluation 3b

Ces méthodes cherchent à évaluer l'évolution de l'incendie en tant que problème non uniforme lorsque, pour un compartiment donné et une charge connue d'incendie localisée, la température sera définie par :

- l'emplacement d'un incendie localisé,
- la croissance d'un tel incendie localisé,
- la taille, la géométrie, l'inertie thermique et la ventilation du compartiment incendié.

L'évolution de température sera fonction :

- du temps et,
- de la localisation d'un élément de structure donné dans ce compartiment.

Ces méthodes doivent être expérimentées. Des essais internationaux ont été menés sur des grandes halles (CTICM, France...) ou dans des installations d'essais avec de grands compartiments (Finlande/Espoo) qui permettent de mesurer en différents points l'évolution de température des feux naturels. Ces méthodes sont utiles pour tous les cas d'incendies localisés dans de grands compartiments ou de grands volumes.



## 2.4 Réflexions sur les exigences en résistance au feu considérant l'effet d'une protection incendie active

S'il est possible d'éviter l'apparition d'une situation d'embrasement généralisé par des mesures actives appropriées (détection automatique, service de secours, sprinkleurs, CO<sub>2</sub>, Halon), la structure ne sera jamais menacée par l'incendie.

Indépendamment de toute méthode d'évaluation, les exigences en résistance au feu doivent être réduites ou tendre vers zéro tant que la probabilité de succès des mesures actives est suffisamment importante.

En effet, un nombre croissant de pays tels que la Suède, la Suisse et l'Allemagne autorisent une réduction ou une suppression des exigences en résistance au feu lorsque la probabilité d'empêcher un embrasement généralisé ou la localisation d'un feu dans un petit périmètre est suffisamment élevée. D'autres pays vont dans cette direction.

Ces concepts alternatifs seront normalement limités aux activités qui ne subiront pas de changements significatifs d'utilisation ou aux bâtiments ayant un nombre limité d'étages. L'argument principal apporté à l'encontre de ces concepts alternatifs fait référence à la fiabilité des mesures actives dans le sens où si elles n'arrivent pas à supprimer un feu naissant, alors une résistance incendie réduite de la structure pourrait présenter un risque considérable. Cependant, nous devons considérer les risques de non-fonctionnement des mesures actives cas par cas.

La méthode de modélisation de l'incendie est un moyen adéquat pour prouver l'efficacité des concepts alternatifs de sécurité incendie. En effet, l'influence des exigences de résistance au feu sur des risques potentiels d'effondrement des structures est reconnue à l'unanimité, alors que l'influence des mesures non-structurelles (déterminant la fréquence des incendies graves) n'est généralement pas prise en compte en tant que paramètre de conception. La modélisation de l'incendie permettra enfin de quantifier l'influence des actions d'extinction (appareils automatiques tels que sprinkleurs et action des services de secours) et de l'incorporer dans l'évaluation.

Pour la méthode d'évaluation 2 (méthode de temps équivalent), le guide de conception du CIB pour une sécurité incendie des structures propose de multiplier la valeur de  $t_e$  donné au § 2.2 par un facteur de différenciation comptant pour les dispositions spéciales de lutte contre l'incendie (mesures actives). Ce facteur de différenciation variera en fonction du niveau de sécurité, de l'efficacité et de la fiabilité des dispositions spéciales de lutte contre l'incendie et est toujours plus faible que l'unité.

### 3. CONCLUSION

- Les objectifs de sécurité incendie sont de réduire les pertes en vies humaines et en biens, ou les pertes financières dans les incendies de bâtiment ou de leur voisinage.
- Dans ce but, on utilise des concepts de sécurité incendie. C'est un ensemble de mesures de conception, techniques et d'organisation préventives contre l'incendie acceptées par le maître d'ouvrage, les autorités de protection au feu et le constructeur.
- Les différents concepts de sécurité incendie sont utilisables, ainsi que les concepts de conception, de surveillance et d'extinction.
- La définition du niveau d'exigence en résistance au feu pour les architectes et les ingénieurs prend en compte l'approche globale utilisée en sécurité incendie et la rentabilité des actions menées dans le cadre des concepts modernes de sécurité incendie.
- Plusieurs types de méthodes d'évaluation de la résistance au feu des structures sont employées : système de classification et méthodes d'ingénierie.

## 4. BIBLIOGRAPHIE

- 1 Kletz T.A., *Symposium on Loss Prevention in Chemical Industry* - Inst. Chem. Eng., Newcastle on Tyne, 1971.
- 2 Sowby F.D., *Symposium on Transporting Radioactive Materials*, April 1964.
- 3 Fry J.F., *Inst. Fire Eng. Edinburgh* (1970) 30 77.
- 4 *Field Survey on the Role of Steel Structures in Industrial Fires. Evaluation of European Research carried out in France and in the Netherlands.* ECSC-Agreement Number : 7219-SA-307 & 607.
- 5 Baldwin R. and Thomas P.H., *Passive and active fire protection - the optimum combination.* Fire Research Station. Fire Research Note Number 963, London, 1973.
- 6 DIN 18 230 : *Baulicher Brandschutz im Industriebau. Teil I : Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer.* Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- 7 CIB (Conseil International du Bâtiment) W14 Workshop "Structural Fire Safety". *A conceptual Approach Towards a Probability Based Design Guide on Structural Fire Safety.* *Fire Safety*, Volume 6, Number 1, 1983. Elsevier Sequoia S.A., Lausanne.
- 8 Eurocode 1 : "*Basis of Design and Actions on Structures*" : Part 2.7 : Actions on Structures Exposed to Fire, CEN (in preparation).
- 9 Eurocodes 2-6 : "*Design of Concrete, Steel, Composite, Timber and Masonry Structures*" : Parts 10 : Structural Fire Design, CEN (in preparation).

## 5. LECTURES COMPLEMENTAIRES

1. European Convention for Constructional Steelwork, "Design Manual on European Recommendations for Fire Safety of Steel Structures", ECCS Publication 35, Brussels, ECCS, 1985.
2. Robinson J., "Fire Protection and Fire Engineering", Chapter 34 - Steel Designers" Manual 5 th ed, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1992.
3. Fire Protection for Structural Steel in Buildings, SCI P-013, 2nd Revised Ed, Association of Fire Protection Contractors and Manufacturers, ASFPCM, Aldershot, 1992.
4. Lawson, R. M., "Fire Resistance and Protection of Structural Steelwork", Chapter 7.3 Constructional Steel Design : An International Guide, Elsevier Applied Science, London, 1992.
5. Handbook of Fire Protection Engineering, 1st Ed, National Fire Protection Association, NFPA, USA, 1988.
6. Steel and Fire Safety - A Global Approach, Eurofer Steel Promotion Committee Brochure, Eurofer, Brussels, 1990.