

SÉCURITÉ INCENDIE DANS LES BÂTIMENTS

Les apports du béton
pour améliorer la sécurité



SÉCURITÉ INCENDIE DANS LES BÂTIMENTS

Les apports du béton
pour améliorer la sécurité

Avant-propos

● Ce document a été produit par les experts de la filière européenne du béton rassemblés au sein de la Plateforme européenne du béton (European Concrete Platform). La filière française du béton (CIMbéton, ACOB, ATILH, CERIB, FIB, SNBPE...) l'a repris à son compte en y apportant les spécificités nationales.

Il est destiné à donner des informations générales et techniques permettant aux acteurs de la construction de bénéficier de données relatives au comportement au feu du matériau béton.

Sont concernés :

- les organismes ministériels en charge des réglementations ;
- les maîtres d'ouvrage ;
- les maîtres d'œuvre ;
- les bureaux d'études et de contrôles techniques ;
- les entreprises ;
- les compagnies d'assurance ;
- le grand public ;
- les services de secours (sapeurs-pompiers...).

Ce fascicule montre comment le béton peut être utilisé au mieux afin d'apporter une protection globale contre les incendies, notamment en matière de sécurité des personnes, de protection des biens et de l'environnement.

Sommaire

● 1 - Le béton, une protection globale contre l'incendie	7
Approche globale	9

● 2 - Performance du béton en cas d'incendie	13
2.1 - Le béton ne brûle pas	14
2.2 - Le béton est un matériau protecteur	15
2.3 - Le béton et l'écaillage	16
2.4 - Le béton, permet d'assurer le cloisonnement des locaux	17
2.5 - La réparation du béton après incendie: une opération simple	18
Étude de cas 1 – Immeuble de grande hauteur, Francfort	19

● 3 - Conception, sécurité incendie et béton	21
3.1 - La conception de bâtiments résistant au feu	22
3.2 - L'utilisation de l'Eurocode 2	24
Étude de cas 2 – Essai au feu grandeur réelle dans un bâtiment en béton	25
3.3 - Utilisation du logiciel de calcul au feu des structures en béton: CIM'feu EC2	26

● 4 - Protection des personnes	27
4.1 - Les structures en béton restent stables pendant un incendie	28
Étude de cas 3 – La tour Windsor, Madrid	29
4.2 - Évacuation des occupants et lutte contre l'incendie	
facilitées grâce au béton	32
Étude de cas 4 – Les tours du World Trade Centre, New York	32
Étude de cas 5 – Contribution à la sécurité incendie dans les tunnels routiers	34
4.3 - Protection de l'environnement assurée par le béton	37
4.4 - La sécurité incendie des immeubles d'habitation	37
Étude de cas 6 – Incendie d'un bâtiment à ossature bois	
en cours de construction, Londres	39
4.5 - Le béton empêche la propagation du feu à la suite	
de tremblements de terre	40

● 5 - Protection des biens et des activités commerciales	41
5.1 - Le béton protège avant, pendant et après l'incendie	42
5.2 - Avec le béton, la protection contre l'incendie ne nécessite pas de frais supplémentaires	43
5.3 - Avec le béton, les primes d'assurance sont réduites	44
Étude de cas 7 – Les entrepôts	45
Étude de cas 8 – Les abattoirs de Bordeaux	46
Étude de cas 9 – Incendie dans un entrepôt de produits pharmaceutiques	47
5.4 - La résistance au feu du béton permet aux pompiers de protéger les biens	47
Étude de cas 10 – Marché de fleurs international de Rungis, Paris	49

● 6 - Le béton et l'Ingénierie de la sécurité incendie	51
6.1 - L'Ingénierie de la sécurité incendie, grands principes	52
6.2 - L'Ingénierie de la sécurité incendie, sa pratique	53

● 7 - Intérêts complémentaires du béton	57
--	-----------

● 8 - Références	61
-------------------------	-----------



Chapitre

1

Le béton, une protection globale contre l'incendie

■ Grâce au béton, la protection des personnes et des biens est assurée.

Le béton présente d'excellentes caractéristiques de tenue au feu qui ont fait leurs preuves. En cas d'incendie, une protection des personnes, des biens et de l'environnement est assurée.

Le béton atteint tous les objectifs prévus dans la législation européenne en matière de protection (directive produits de construction). Tous les acteurs de la construction en bénéficient : locataires, propriétaires, entreprises, assureurs, organismes de réglementation et sapeurs pompiers. **Utilisé pour la construction d'immeubles d'habitation, de bâtiments d'activités et de commerce, d'entrepôts industriels, d'ouvrages d'art et de tunnels, le béton est un matériau adapté pour rester robuste, même dans les situations d'incendie les plus extrêmes.**

Les exemples de la vie de tous les jours prouvent les capacités de protection et de résistance au feu du béton, ce qui encourage les propriétaires, assureurs et organismes de réglementation à en faire leur matériau de prédilection. Ainsi, son utilisation est beaucoup plus demandée que d'autres matériaux de construction. Choisir le béton, c'est la certitude de faire le bon choix, car ce matériau n'ajoute pas de charge calorifique supplémentaire. Il permet une évacuation facile tout en se protégeant du feu et stoppe la propagation des flammes entre les locaux et retarde l'effondrement des structures, empêchant le plus souvent la destruction de tout le bâtiment. **Comparé à d'autres matériaux de construction, le béton présente des performances supérieures dans tous les domaines de la sécurité incendie ; son utilisation est simple et économique.**



Dans cet incendie survenu dans un entrepôt, les sapeurs-pompiers ont pu s'abriter derrière le mur en béton, afin de s'approcher suffisamment près du foyer pour éteindre les flammes.

L'utilisation du béton dans les bâtiments et les ouvrages offre des niveaux de protection et de sécurité exceptionnels en cas d'incendie

- Le béton est incombustible et n'augmente pas la charge calorifique.
- Le béton a une grande résistance au feu et empêche la propagation de l'incendie.
- Le béton présente une capacité coupe-feu importante en constituant un bouclier efficace contre le feu. Il permet l'évacuation sans risque des occupants et facilite l'intervention des sapeurs-pompiers.
- Le béton ne génère ni fumée ni gaz toxique, il réduit ainsi les risques pour les occupants.
- Le béton ne génère pas de particules en fusion, susceptibles de propager l'incendie.
- Le béton limite la propagation de l'incendie et réduit donc le risque de pollution de l'environnement.
- Le béton constitue en lui-même une protection contre l'incendie. Le plus souvent, aucune mesure de protection complémentaire n'est nécessaire.
- Le béton peut résister aux incendies les plus violents. Cela en fait le matériau idéal pour les locaux de stockage présentant une charge combustible importante.
- La robustesse et la solidité du béton lors d'un incendie facilitent la lutte contre le feu et réduisent le risque d'effondrement des structures.
- Le béton est facile à réparer après un incendie; les entreprises peuvent donc reprendre plus rapidement leurs activités.
- Le béton n'est que peu affecté par l'eau des lances d'incendie.
- Les chaussées en béton supportent les conditions extrêmes d'incendie rencontrées dans les tunnels.

En conclusion, choisir le béton est une évidence, il permet de limiter les conséquences d'un incendie.

Approche globale

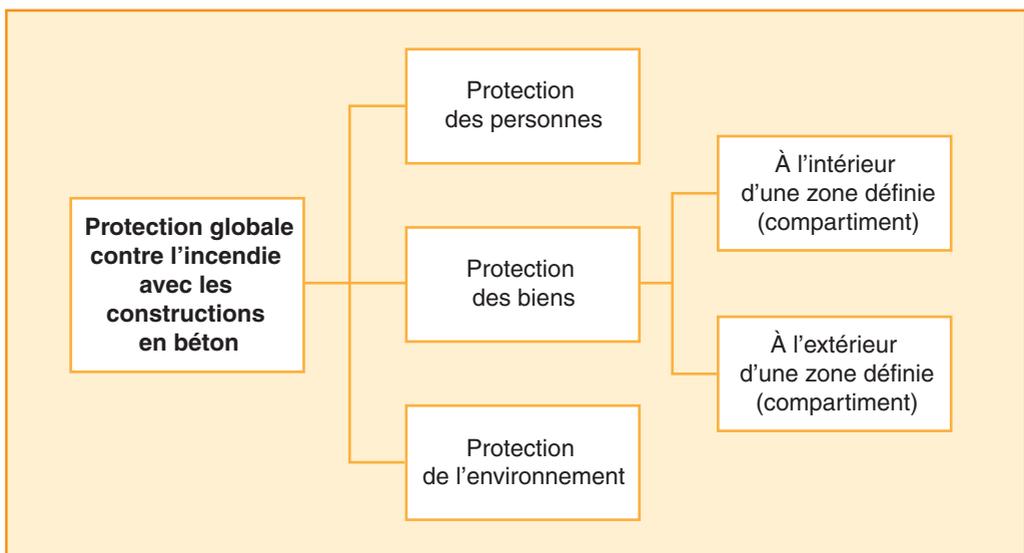
Pour réduire le nombre de décès et l'impact des dégâts causés par les incendies, il convient d'adopter une approche globale de la sécurité incendie. En 1999, le Centre mondial des statistiques incendies (World Fire Statistics Centre) a présenté, au Groupe de Travail pour le Logement des Nations Unies, un rapport regroupant les données internationales sur les incendies dans les bâtiments (U. Neck, 2002). Cette étude, menée dans 16 pays industrialisés, a révélé qu'en moyenne, sur une année, le nombre de personnes tuées dans des incendies est de 1 à 2 personnes pour 100 000 habitants; le coût total des dégâts est de 0,2 % à 0,3 % du produit national brut (PNB), voir le tableau 5.1, page 43.

Tout un chacun doit se tenir prêt à faire face à un éventuel incendie quels que soient les bâtiments et à ses répercussions sur les vies humaines et les moyens de survie. L'objectif d'une conception efficace est de garantir que les bâtiments et les structures sont capables de protéger tant les personnes que les biens des risques d'incendie.

Bien que les règles de sécurité soient rédigées en ayant à l'esprit ces deux objectifs, c'est naturellement la sécurité de la population qui prime. Cependant, les propriétaires privés, les compagnies d'assurance et les autorités nationales peuvent prendre en considération la sécurité incendie pour d'autres raisons, telles que **la préservation de l'outil de travail, le stockage des données, la protection de l'environnement et l'entretien des infrastructures**. Tous ces facteurs sont pris en compte dans les législations nationale et européenne en matière de sécurité incendie, voir le graphique 1.1, ci-dessous.

Les mesures structurelles de protection contre les incendies doivent remplir les trois objectifs suivants :

- la **protection des personnes** afin de préserver leur vie et leur santé ;
- la **protection des biens**, en vue de préserver les marchandises et autres biens, les tiers avoisinants, ainsi que la conservation de la structure du bâtiment ;
- la **protection de l'environnement**, pour minimiser les effets néfastes liés aux fumées et gaz toxiques ainsi qu'à l'eau d'extinction.



Graphique 1.1 : approche globale de la sécurité incendie (U. Neck, 2002)



Les North Galaxy Towers de Bruxelles. Ce bâtiment de 30 étages en béton armé répond aux strictes exigences en matière de résistance au feu (REI 120); les poteaux sont en béton C80/95 à haute résistance.

Avec une construction en béton, ces trois objectifs peuvent être atteints. Grâce à son caractère incombustible et à sa grande résistance au feu, le béton apporte une protection globale contre les incendies, **pour les personnes, les biens et l'environnement.**

Dans le tableau 1.1, les propriétés naturelles de résistance au feu du béton sont comparées à d'autres matériaux de construction. Ainsi, on peut constater les excellentes performances du béton dans une gamme étendue de propriétés fondamentales.

Tableau 1.1 : résumé des performances des matériaux de construction dans un incendie

Matériau de construction	Résistance au feu (matériau non protégé)	Combustibilité	Contribution à la charge calorifique	Vitesse d'élévation de la température à travers une section	Protection contre l'incendie	Facilité de réparation après l'incendie	Protection pour les personnes évacuées et les pompiers
Bois d'œuvre	Faible	Élevé	Élevé	Très faible	Très faible	Nulle	Faible
Acier	Très faible	Nulle	Nulle	Très élevé	Faible	Faible	Faible
Béton	Élevé	Nulle	Nulle	Faible	Élevée	Élevée	Élevée



Les tunnels et les revêtements routiers à base de béton peuvent supporter des conditions extrêmes d'incendie. Tunnel du Sinard (A51), Coynelles, Col du Frau, France. La chaussée en béton n'apporte pas de potentiel calorifique supplémentaire. L'évacuation des usagers et l'intervention des sapeurs-pompiers sont facilitées.

Comportement du béton dans un incendie

- 2.1 - Le béton ne brûle pas**
- 2.2 - Le béton est un matériau protecteur**
- 2.3 - Le béton et l'écaillage**
- 2.4 - Le béton, permet d'assurer le cloisonnement des locaux**
- 2.5 - La réparation du béton après l'incendie: une opération simple**

Le béton ne brûle pas, ne produit pas de fumée et n'émet pas de gaz toxiques. Il apporte également une protection contre la propagation du feu.

Il existe deux composants clés expliquant les hautes performances du béton dans un incendie : premièrement, ses propriétés de base en tant que matériau de construction et deuxièmement, sa fonctionnalité dans une structure. Le béton est non combustible, sa vitesse d'élévation de la température à travers une section est faible (il constitue un écran pare-feu) : dans la plupart des structures, le béton peut être utilisé sans protection supplémentaire contre l'incendie. Une grande partie des propriétés de résistance au feu du béton est maintenue, qu'il s'agisse de béton classique, de béton léger, qu'il soit produit sous forme de béton de maçonnerie ou de béton cellulaire autoclavé. Surtout, aucun autre matériau ne présente de profil aussi complet au niveau des performances de sécurité incendie (voir le tableau 1.1).

2.1 - Le béton ne brûle pas

Contrairement à d'autres matériaux dans un bâtiment, le béton ne peut pas prendre feu. Il résiste aux braises couvantes, qui peuvent atteindre des températures très élevées et allument ou relancent un incendie ; les flammes des éléments en feu ne peuvent enflammer le béton.

Comme il ne brûle pas, le béton ne peut donc émettre de fumée, de gaz ou de vapeurs toxiques lorsqu'il est touché par le feu. Il n'exsoudera pas non plus de particules en fusion, qui peuvent provoquer un embrasement, à la différence de certains plastiques et métaux. **En aucun cas le béton ne peut contribuer à la survenue ou à la propagation d'un incendie, ni augmenter la charge combustible.**

La preuve des hautes performances du béton dans un incendie, apportée par des autorités de contrôle, est présentée dans les normes européennes. Tous les matériaux de construction ont été classés selon leur comportement et leur résistance au feu, ce qui déterminera si un matériau peut être utilisé ou si une protection supplémentaire contre l'incendie est nécessaire. En se fondant sur la Directive européenne concernant les produits de construction (norme EN 13501-1 [2007])

« Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 1 : classement à partir des données d’essais de réaction au feu ») les matériaux sont répartis dans sept classes portant les désignations A1, A2, B, C, D, E et F, selon leur comportement au feu.

La désignation de la performance la plus élevée est A1 (matériaux non combustibles). La Commission européenne a publié une liste « exécutoire » des matériaux approuvés pour cette catégorie, comprenant les différents types de béton ainsi que des constituants minéraux du béton. **Le béton remplit les exigences de la classe A1, car ses constituants minéraux sont effectivement non combustibles** (c’est-à-dire qu’ils ne s’enflamment pas aux températures que l’on rencontre habituellement dans les incendies).

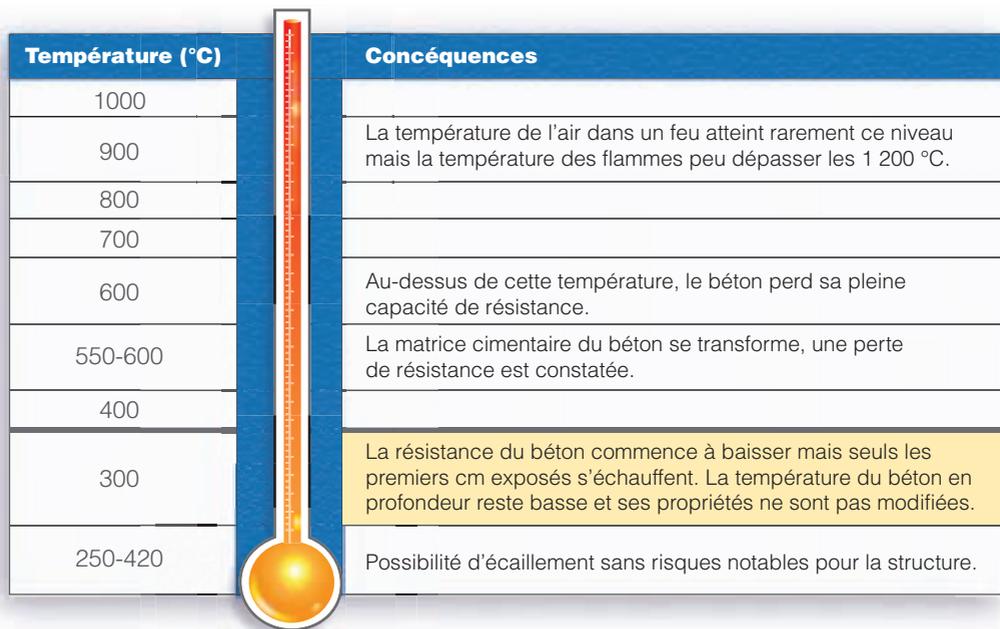
2.2 - Le béton est un matériau protecteur

Les structures en béton présentent une résistance au feu élevée. Dans la plupart des applications, les murs en béton peuvent être décrits comme étanche aux flammes ; ils constituent alors un écran pare-feu très efficace. La masse du béton confère une capacité élevée de stockage de la chaleur.

En raison de la faible augmentation de la température à travers la section transversale d’un élément en béton, les zones internes n’atteignent pas des températures aussi hautes qu’une surface exposée aux flammes. L’épreuve thermique standard, ISO 834, menée sur des poutres en béton d’une largeur de 160 mm et d’une hauteur de 300 mm, exposé au feu sur trois côtés pendant une heure montre qu’à 16 mm de la surface, la température atteint 600 °C, elle est réduite de moitié, à 42 mm de la surface (Kordina, Meyer-Ottens, 1981). Ces données montrent que l’augmentation relativement faible de la température à l’intérieur du béton garantit que ses zones internes resteront bien protégées.

Même après une période prolongée d’exposition au feu, la température interne du béton reste relativement basse. Cela lui permet de conserver ses propriétés d’écran pare-feu ainsi que sa capacité structurale. Il joue alors parfaitement son rôle **d’élément séparateur**.

Lorsque le béton est exposé aux températures élevées d’un incendie, un certain nombre d’altérations physiques et chimiques peuvent avoir lieu. Ces altérations sont présentées dans le tableau 2.1, qui montre la corrélation entre la température à l’intérieur du béton (et non la température des flammes) et les changements au niveau de ses propriétés.



Température (°C)	Conséquences
1000	
900	La température de l'air dans un feu atteint rarement ce niveau mais la température des flammes peu dépasser les 1 200 °C.
800	
700	
600	Au-dessus de cette température, le béton perd sa pleine capacité de résistance.
550-600	La matrice cimentaire du béton se transforme, une perte de résistance est constatée.
400	
300	La résistance du béton commence à baisser mais seuls les premiers cm exposés s'échauffent. La température du béton en profondeur reste basse et ses propriétés ne sont pas modifiées.
250-420	Possibilité d'écaillage sans risques notables pour la structure.

Tableau 2.1 : comportement au feu du béton – les processus physiques et chimiques en jeu (Khoury 2000).

2.3 - Le béton et l'écaillage

L'écaillage éventuel fait partie des réactions normales du béton lorsque celui-ci est exposé à des températures élevées, rencontrées dans un incendie. Ainsi, pour des bâtiments et des incendies classiques (par exemple, bureaux, écoles, hôpitaux, habitations). Le fait que le béton s'écaille est implicite dans les codes de conception (l'Eurocode 2), à l'exclusion des tunnels ou des feux d'hydrocarbures (sujets évoqués dans le chapitre 4 – Protection des personnes).

Par exemple, les recherches menées sur les résultats expérimentaux utilisés comme fondement pour l'élaboration du code de conception britannique des structures en béton (BS 8110) ont montré que les résultats confirmaient les cycles théoriques de résistance au feu et que, dans de nombreux cas, elles étaient très conservatrices (Lennon, 2004). Le graphique 2.2 présente une comparaison entre la performance de dalles de plancher lors d'épreuves thermiques et leur performance théorique (BS 8110). Beaucoup d'échantillons ont subi un écaillage

pendant les épreuves thermiques ; le fait que la plupart des dalles ont dépassé les degrés théoriques de performance prouve donc clairement qu'on tient compte de l'écaillage dans les codes de conception et aussi que celui-ci n'a pas d'impact grave sur la résistance au feu du béton dans les incendies ordinaires.

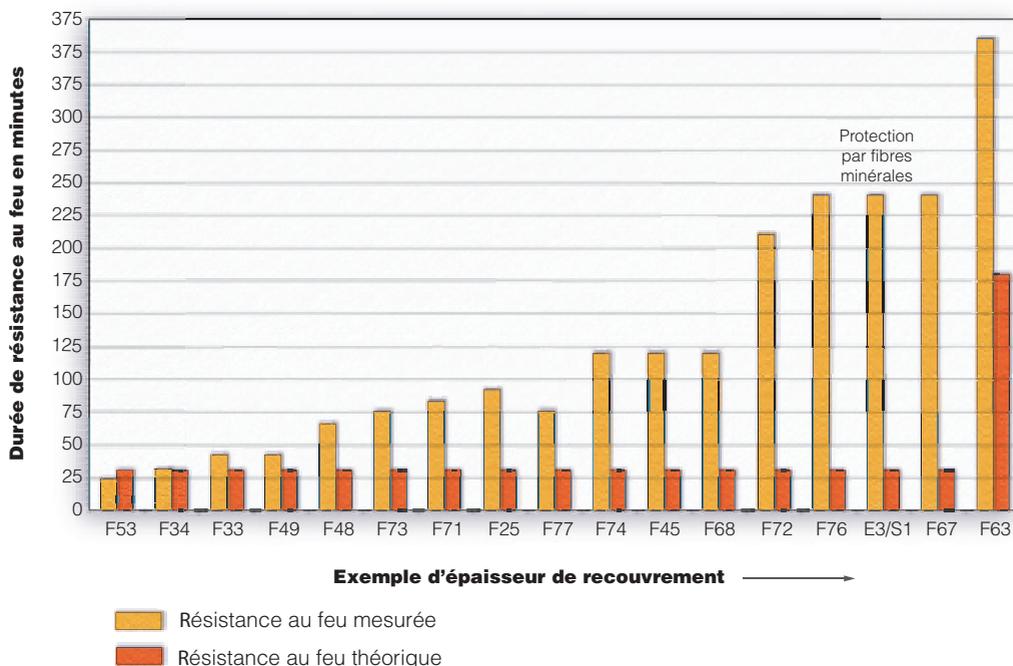


Figure 2.2: Comparaison des résistances au feu en fonction de l'épaisseur du béton (tiré de Lennon, 2004).

2.4 - Le béton, permet d'assurer le cloisonnement des locaux

Le béton protège des effets néfastes d'un incendie. Sa fiabilité est telle que son usage est répandu pour apporter un compartimentage stable dans de grands bâtiments industriels. En divisant ces derniers en compartiments, le risque que le bâtiment soit totalement détruit lors d'un incendie est pratiquement supprimé. Les sols et les murs en béton réduisent le périmètre de l'incendie aussi bien horizontalement (à travers les murs) que verticalement (à travers les planchers). Le béton apporte ainsi la possibilité d'une installation facile et économique de structures séparatives efficaces. Ses propriétés de bouclier thermique sont inhérentes et ne requièrent aucun entretien ni aucun matériau supplémentaire pour enrayer la propagation du feu.



Les murs en béton préfabriqués forment un compartimentage résistant pour ces installations de stockage en construction.



2.5 - La réparation du béton après l'incendie : une opération simple

La majeure partie des structures en béton n'est pas détruite dans un incendie ; l'un des principaux avantages du béton réside donc dans le fait qu'il peut en général être facilement réparé après l'incendie, minimisant ainsi les inconvénients et le coût des réparations. Le chargement limité des planchers et les températures relativement basses rencontrées dans la plupart des incendies de bâtiments font que la capacité de résistance du béton est en grande partie préservée aussi bien pendant qu'après l'incendie. Pour cette raison, il arrive assez souvent que les seuls travaux de réparation à effectuer soient un simple nettoyage.

La rapidité de réparation et de réhabilitation est un facteur important assurant des pertes minimales pour l'entreprise après un incendie majeur. Ces réparations sont préférables à la démolition et à la reconstruction des lieux.

ÉTUDE DE CAS N° 1

Incendie dans un immeuble de grande hauteur à Francfort, en Allemagne (1973)

> Dans la nuit du 22 août 1973, un grave incendie s'est déclaré au quarantième étage du plus haut immeuble de Francfort. Le feu s'est rapidement propagé au 38^e et au 41^e et dernier étage de ce bâtiment, de 140 mètres de hauteur, à usage de bureaux. Toute la structure portante horizontale et verticale de cet immeuble est constituée de béton armé avec un plancher réalisé à base de panneaux en forme de double T.



> Comme les lignes verticales de protection incendie (colonnes humides) n'avaient pas été correctement raccordées, la lutte contre le feu n'a pu commencer que deux heures après le début de l'incendie. Trois heures plus tard, le feu était sous contrôle. Au total, environ huit heures ont été nécessaires pour éteindre le feu (Beese, Kurkchubasche, 1975).

> Tous les éléments de structure ont supporté le feu, malgré leur exposition aux flammes pendant quatre heures. Le béton s'est écaillé en de nombreux endroits et l'on a dénombré plusieurs cas où non seulement l'armature était visible, mais où elle était aussi totalement exposée au feu. Heureusement, la structure ne s'est pas effondrée pendant l'incendie et il n'a pas été nécessaire par la suite de démolir des étages entiers – une opération qui aurait été délicate à plus de 100



Exemple d'éléments en béton après l'incendie, sur lesquels l'écaillage est visible.



Réparation des parties endommagées en projetant du béton.

mètres de hauteur. La plupart des éléments ont pu être réparés sur place en réutilisant et en renforçant les armatures ainsi qu'en projetant du béton.

> La restauration rapide de cet immeuble après l'incendie est un exemple typique de la bonne résistance au feu des structures en béton et de la façon dont il est possible de réparer la structure sans prendre de risque.



Chapitre

3

Conception, sécurité incendie et béton

**3.1 - La conception de bâtiments
résistant au feu**

3.2 - L'utilisation de l'Eurocode 2

**3.3 - Utilisation du logiciel de calcul au
feu des structures en béton: CIM'feu**

Les structures en béton remplissent facilement toutes les exigences nationales et européennes.

La conception et le choix des matériaux eux-mêmes sont cruciaux pour garantir la sécurité incendie. Ce chapitre explique les principales considérations en matière de conception des bâtiments soumis au feu.

3.1 - La conception de bâtiments résistant au feu

Auparavant, les exigences en matière de sécurité incendie étaient du ressort des gouvernements nationaux, tandis qu'elles sont aujourd'hui fondées sur les directives, normes et orientations européennes. Il existe quatre objectifs principaux à atteindre lors de la conception d'un bâtiment pour que celui-ci soit sécurisé en cas d'incendie. Le béton peut aisément atteindre tous ces objectifs de sécurité incendie de façon économique et très fiable. Les exigences principales sont présentées dans l'illustration 3.1 et le tableau 3.1 qui mettent en avant plusieurs exemples de la façon dont ces exigences peuvent être remplies en utilisant une construction en béton. Ils démontrent les fonctions protectrices complètes des structures en béton.

Illustration 3.1
La structure doit :
A - maintenir sa capacité de charge
B - protéger les personnes des fumées et des gaz toxiques
C - protéger les personnes de la chaleur
D - faciliter l'intervention des pompiers





Protection apportée par une construction en béton – voir point D dans la figure 3.1, page 22.

Les quatre exigences présentées dans le tableau 3.1 doivent être prises en compte lors de la conception d'une structure ; c'est le fondement des méthodes de conception des éléments structuraux en matière de sécurité incendie dans l'Eurocode 2 (EN 1992-1-2 « Calcul des structures en béton – comportement au feu »).

Tableau 3.1 : les exigences liées à la sécurité incendie et leur rapport avec le béton		
Objectif	Exigence	Utilisation du béton
1. Garantir la stabilité , sur une période précise, des éléments de la construction qui portent la charge.	Les éléments doivent être constitués d'un matériau non combustible et présenter une haute résistance au feu.	Le béton est un matériau inerte et non combustible (classe A1) ; en raison de sa faible conductivité thermique, la majeure partie de sa capacité portante est maintenue dans un incendie classique.
2. Limiter la production et la propagation du feu et de la fumée.	Les murs coupe-feu et les sols doivent être non combustibles et présenter une haute résistance au feu.	Outre l'indication fournie ci-dessus, des liaisons correctement conçues avec du béton réduisent la vulnérabilité au feu . La continuité structurelle est ainsi assurée.
3. Aider à l'évacuation des occupants et garantir la sécurité des équipes de sauvetage.	Des voies d'évacuation doivent être constituées de matériaux non combustibles et présenter une grande résistance au feu, afin de pouvoir être utilisées sans risque pendant une période prolongée.	Les noyaux en béton sont extrêmement solides et peuvent apporter de hauts niveaux de résistance. Le coffrage coulissant ou grimpeur constitue des méthodes de construction particulièrement efficaces.
4. Faciliter l'intervention des équipes de sauvetage (pompiers).	Les éléments porteurs doivent présenter une haute résistance au feu pour permettre une lutte efficace contre le feu ; il ne doit pas apparaître de gouttelettes enflammées.	Les éléments porteurs conservent leur intégrité pendant plus longtemps et le béton ne générera pas de matières en fusion.

Les critères suivants de protection contre les incendies doivent être remplis par toutes les constructions conçues selon l’Eurocode 2 : la Résistance (R), l’Étanchéité (E) et l’Isolation (I). Ces trois critères sont expliqués dans le tableau 3.2.

Les lettres R, E et I sont suivies de nombres faisant référence à la résistance, exprimée en minutes, d’exposition au feu (courbe ISO 834) :

- un mur porteur stable au feu pendant 90 minutes sera classé comme R90 ;
- un mur pare-flamme pendant 90 minutes pourra être RE90 ;
- un mur coupe-feu pendant 90 minutes sera classé comme REI90.

Tableau 3.2: les trois principaux critères de la protection contre les incendies, selon l’Eurocode 2, partie 1-2

Appellation	État limite du feu	Critère
Résistance (R) Aussi appelée : résistance au feu Capacité portante	Limite de charge La structure doit conserver sa capacité de charge.	La capacité portante de la construction doit être assurée pendant une période donnée. La durée pendant laquelle la résistance au feu d’un élément de construction est assurée est fonction de sa résistance mécanique sous charge.
Étanchéité (E) Aussi appelée : séparation coupe-flammes herméticité	Limite de l’intégrité La structure doit protéger les personnes et les biens des flammes, de la fumée toxique et des gaz chauds.	Il n’y a pas de défaillance de l’intégrité, ce qui empêche les flammes et les gaz chauds de passer du côté non exposé.
Isolation (I) Aussi appelée : Écran pare-feu Écran thermique Séparation	Limite de l’isolation La structure doit protéger les personnes et les biens de la chaleur.	Il n’y a pas de défaillance de l’isolation, ce qui restreint l’élévation de la température dans la partie non exposée.
Chacun des états limites mentionnés ci-dessus est exprimé en minutes, aux intervalles suivants : 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.		

Nota

Les lettres R, E et I sont dérivées de termes français. Elles sont maintenues dans l’Eurocode en raison de leur publication originale en France.

3.2 - L’utilisation de l’Eurocode 2

La partie 1-2 de l’Eurocode 2, intitulée « Conception des structures soumises à un incendie » traite de la réalisation des structures en béton sous incendie pour les aspects de la protection passive et contre les incendies en général.

ÉTUDE DE CAS N° 2

Essai au feu grandeur réelle dans un bâtiment en béton

> Les propriétés du béton, selon les critères R, E et I, ont été soumises en 2001 à des tests lors d'une expérience d'incendie à échelle réelle menée sur un bâtiment test en béton à l'Institut de recherche sur les bâtiments (le BRE – Building Research Establishment) de Cardington, en Angleterre (Chana et Price, 2003). Les résultats du test sont résumés comme suit par le BRE.



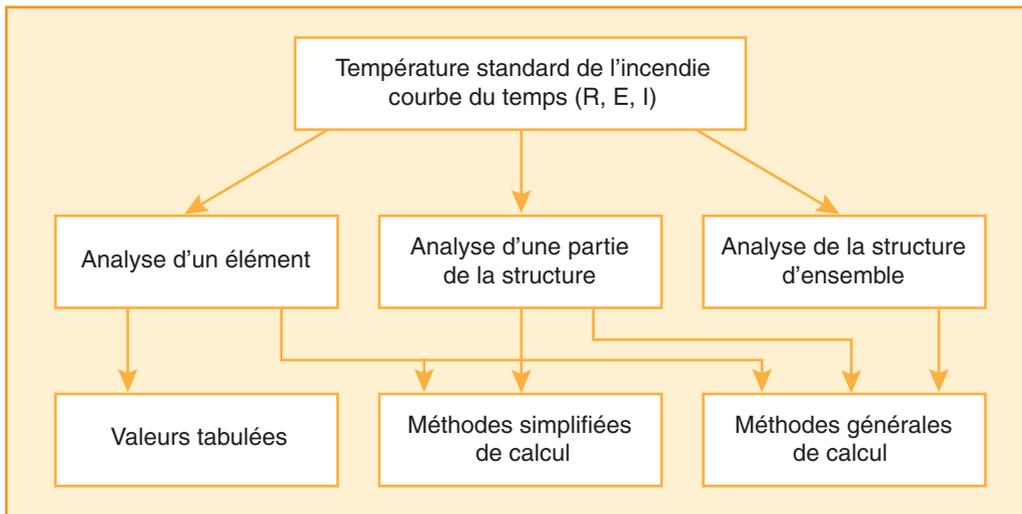
> « Le test a démontré l'excellente performance d'un bâtiment conçu conformément aux règles de l'Eurocode 2. Le bâtiment a rempli les critères de performance de capacité portante, d'isolation et d'intégrité lorsqu'on l'a soumis à un incendie naturel sous chargement mécanique. Le plancher a supporté les charges de façon continue sans qu'aucune mesure correctrice ne soit apportée après l'incendie. »

Épreuve thermique sur une structure en béton au BRE (UK).

Les structures font l'objet des classements selon les critères R, E et I, expliqués précédemment.

Comme le montre le graphique 3.1, l'Eurocode 2 permet aux ingénieurs d'établir les dimensions d'une structure et de vérifier sa résistance au feu à l'aide d'une des trois méthodes ci-dessous.

1. Déterminer les dimensions minimales des sections transversales des éléments structuraux et l'épaisseur d'enrobage admissible des armatures conformément à des valeurs tabulées.
2. Déterminer la section transversale de l'élément, à l'aide d'une méthode simplifiée pour établir la section transversale restante et non endommagée, en fonction de la courbe de température ISO 834.
3. Vérifier les sections transversales des éléments, en utilisant des méthodes générales de calcul en incluant les dilatations et gradients thermiques et le comportement mécanique des éléments.



Graphique 3.1 : procédure de calcul pour la résistance au feu de structures

Outre les clauses génériques liées au calcul du comportement au feu, applicables dans toute l'Europe, les États membres ont la liberté d'établir des valeurs pour certains paramètres ou procédures dans leurs Annexes Nationales (DAN). Il est important que les concepteurs se réfèrent à ces documents pour s'assurer que leur approche est adaptée au pays dans lequel ils travaillent ou produisent des calculs.

Des publications comme celles de Naryanan et Goodchild (2006), portant sur la conception britannique, seront considérées comme des travaux de référence utiles pour les concepteurs qui souhaitent mettre à jour ou améliorer leur compréhension de l'Eurocode 2. La publication *Sécurité incendie et structures en béton* de Denoël/Febelcem (2006) couvre largement les différentes méthodes de conception présentées dans les Eurocodes.

3.3 - Utilisation du logiciel de calcul au feu des structures en béton : CIM'feu EC2

Développé par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et produit par CIMBÉTON, le logiciel CIM'feu EC2 permet le calcul au feu des poutres rectangulaire et des poutres en T et en I, des poteaux rectangulaires et ronds, des dalles et des murs. Une notice technique explicative assortie d'exemples facilite la lecture et l'utilisation.

Protection des personnes

- 4.1 - Les structures en béton restent stables pendant un incendie**
- 4.2 - Évacuation des occupants et lutte contre l'incendie facilitées grâce au béton**
- 4.3 - Protection de l'environnement assurée par le béton**
- 4.4 - La sécurité incendie des immeubles d'habitation**
- 4.5 - Le béton empêche la propagation du feu à la suite de tremblements de terre**

Le béton, protecteur de la vie et garant de la sécurité des habitants et des Sapeurs-pompiers.

L'incendie constitue souvent une menace pour la vie humaine. Cette réalité est à l'origine des améliorations de la sécurité incendie, qui contraignent à concevoir des bâtiments aptes à protéger les personnes et leurs biens des dangers que représentent les incendies. Les bâtiments et les structures en béton préservent la vie et la santé des personnes, conformément à la législation européenne. Le chapitre 2 a exposé le comportement des structures en béton et du matériau béton soumis à un incendie. L'efficacité de ce matériau en termes de résistance au feu a été démontrée.

La protection de la vie repose sur **la solidité propre au béton**, sa non-combustibilité et ses propriétés d'écran thermique, afin de garantir la stabilité des bâtiments pendant la durée de l'incendie. Ces propriétés permettent aux occupants de survivre et d'évacuer facilement le bâtiment, les pompiers pouvant intervenir en toute sécurité. De plus, elles réduisent l'impact environnemental causé par les produits de la combustion.

4.1 - Les structures en béton restent stables pendant un incendie

Dans la conception de la sécurité incendie, les fonctions d'un élément de structure peuvent être évaluées selon sa capacité portante, sa fonction séparative et/ou sa capacité d'écran pare-feu (R, E, I) et elles sont généralement présentées sous forme de valeurs numériques (s'échelonnant entre 15 et 360 minutes), exprimant la durée pendant laquelle l'élément est supposé accomplir ces fonctions (voir le chapitre 3). En cas d'incendie, la structure doit au moins atteindre le niveau requis par la réglementation.

Conserver la stabilité de la structure aussi longtemps que possible est bien entendu souhaitable pour la survie, l'évacuation des occupants et la lutte contre le feu. Ceci est particulièrement important dans les grands complexes et les immeubles de plusieurs étages. Les bâtiments en béton sont conçus pour répondre à cette demande de stabilité en cas d'incendie et iront au-delà de ces attentes dans bien des situations. Grâce à sa non-combustibilité et à la faible hausse de la température du noyau des éléments, le béton ne brûlera pas et sa résistance

ne sera pas significativement affectée lors d'un incendie classique d'immeuble. De plus, la résistance au feu inhérente au béton agit comme une protection passive de longue durée. Le béton est le seul matériau de construction qui ne nécessite pas de mesures actives de lutte contre le feu tel que des sprinklers pour être performant lors d'une forte exposition dans un incendie.

La protection apportée par le béton a été démontrée dans le comportement de la tour Windsor à Madrid, lors de l'incendie qui s'est produit en février 2005. Les poteaux et le noyau central en béton ont empêché ce bâtiment de 29 étages de s'effondrer, et les poutres de transfert massives en béton au-delà du 16^e étage ont contenu le feu au-dessus de ce niveau pendant sept heures, ainsi qu'on peut le voir dans l'étude de cas N° 3.

ÉTUDE DE CAS N° 3 La tour Windsor, Madrid (2005)

> Cet incendie, dont le coût s'élève à 122 millions d'euros, est survenu lors de la remise à neuf d'un immeuble de bureaux majeur dans le quartier financier de Madrid et constitue un excellent exemple du comportement au feu des bâtis traditionnels en béton. Construite entre 1974 et 1978, la tour Windsor était composée de 29 étages de bureaux, cinq niveaux en sous-sol et deux « étages techniques » situés au-dessus du 3^e et du 16^e étage. À l'époque de sa conception, les sprinklers n'étaient pas obligatoires dans les codes de construction espagnols. Cette mesure a été modifiée par la suite et a entraîné la rénovation de la tour pour répondre aux réglementations actuelles. Ce projet comprenait l'ignifugation de toutes les colonnes périphériques en acier, l'ajout d'une nouvelle façade, de nouveaux escaliers d'évacuation externes, des actualisations des systèmes d'alarmes et de détection ainsi que l'ajout de deux étages supplémentaires. Lorsque l'incendie a éclaté, un cabinet comptable international occupait vingt étages du bâtiment et deux étages avaient été affectés à un cabinet d'avocats espagnol. L'immeuble, de forme rectangulaire, mesurait 40 m x 26 m à partir du 3^e étage. La structure porteuse était constituée de béton à résistance normale en son centre, au niveau des poteaux et des poutres-caissons. La majeure partie de la façade comportait des poteaux



périphériques en béton, mais la caractéristique essentielle de la tour était ses deux « étages techniques » en béton. Ces deux « étages techniques » ou étages résistants, chacun doté de huit méga-poutres en béton (3,75 mètres de hauteur) étaient conçus pour agir comme des poutres porteuses permettant le transfert des charges, empêchant l'effondrement progressif causé par la chute d'éléments tombant des étages supérieurs.

> L'incendie a éclaté tard dans la nuit, presque deux ans après le début de la rénovation. L'immeuble était inoccupé. Il s'est déclenché au 21^e étage et s'est propagé rapidement vers les étages supérieurs, via les ouvertures créées lors de la rénovation et par la façade (entre les colonnes périphériques et la façade en acier/vitre) vers le bas, via les débris enflammés qui pénétraient par les fenêtres des étages inférieurs. En raison de la hauteur, de l'étendue



La façade qui se trouvait au-dessus de l'étage technique au niveau 16 a été totalement détruite.

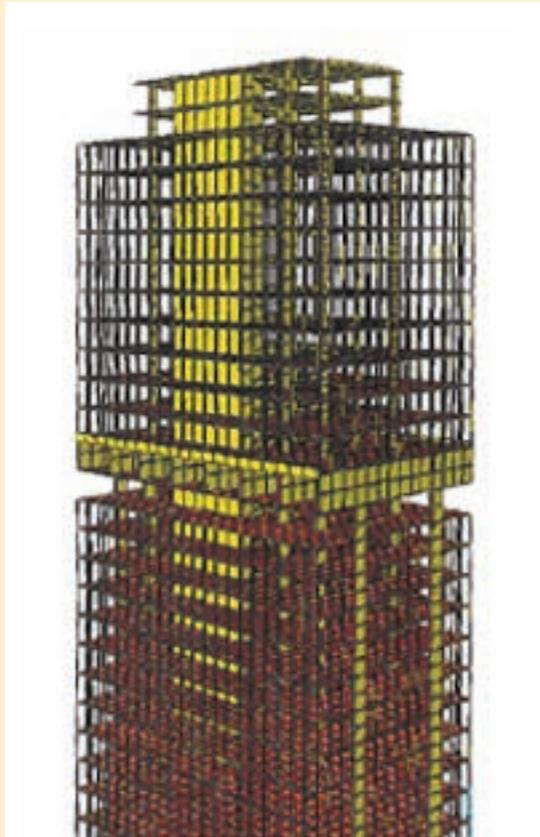
et de l'intensité du feu, les pompiers pouvaient uniquement contenir l'incendie et protéger les propriétés adjacentes. L'incendie a donc fait rage pendant 26 heures, envahissant presque tous les étages.

> Lorsque le feu a pu être enfin maîtrisé, l'immeuble avait complètement brûlé à partir du 5^e étage, la façade était en grande partie détruite et on craignait qu'elle ne s'effondre. Cependant, durant toute la durée de l'incendie et jusqu'à la démolition finale, la structure est restée debout. Seule la façade et les étages qui se trouvaient au-dessus des « étages techniques » supérieurs en béton se sont effondrés. La résistance passive des colonnes et du noyau en béton a participé à éviter l'effondrement total du bâtiment, mais les deux « étages

techniques » en béton ont joué un rôle crucial, en particulier celui qui se trouvait au-dessus du 16^e étage, qui a contenu l'incendie pendant plus de sept heures. Ce n'est qu'à ce moment-là, après un effondrement très important, que les débris qui tombaient des étages supérieurs ont propagé le feu dans les étages inférieurs. Ceux-ci ont brûlé, mais rappelons que les dégâts se sont limités aux étages au-dessus de l'« étage technique » inférieur, au troisième niveau.

> Cet exemple est une preuve évidente que la présence de sols résistants en béton, à des intervalles réguliers, peut réduire le risque d'effondrement et empêcher la propagation du feu. Le seul rapport judiciaire effectué sur l'incendie de la tour Windsor a été effectué par des chercheurs espagnols de l'Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (Intemac). Cette recherche indépendante portait en particulier sur la résistance au feu et la capacité de charge résiduelle de la structure après l'incendie (Intemac, 2005). Parmi les découvertes d'Intemac, le rapport de 2005 tire les conclusions suivantes : « Au-delà de nos attentes et compte tenu du fait que la législation en vigueur n'avait pas été appliquée de façon stricte, la structure en béton de la tour Windsor s'est extrêmement bien comportée dans ce grave incendie. La nécessité d'ignifuger les éléments en acier a été confirmée. Compte tenu de la fiabilité des éléments ignifugés dans les étages, il est fort probable qu'après l'ignifugation complète des étages supérieurs, les dégâts auraient été beaucoup moins importants ».

> L'Institut des Sciences de la Construction Eduardo Torroja, un centre de recherche espagnol (IETcc – Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja), en collaboration avec l'Institut espagnol du ciment et de ses applications (IECA), a enquêté sur les éléments structuraux en béton armé de la tour Windsor. La recherche comportait une étude microstructurale de ces éléments, au moyen d'une analyse thermique et d'un microscope électronique. Il a été observé que la température avait atteint 500 °C à l'intérieur du béton, à une distance de 5 cm de la surface exposée au feu. Ce résultat confirme la gravité de l'incendie de la tour Windsor et la bonne performance de l'enrobage en béton, en conformité avec les normes de conception de la sécurité incendie des structures en béton.



Plan montrant la position de l'étage technique.

4.2 - Évacuation des occupants et lutte contre l'incendie facilitées grâce au béton

La stabilité des structures en béton dans un incendie est particulièrement importante pour l'évacuation sécurisée des occupants et pour la lutte contre le feu. Les cages d'escalier, sols, plafonds et murs en béton empêchent la propagation du feu et assurent la sécurité de l'évacuation et l'accès pour les équipes de sauvetage. Les voies d'évacuation en béton ont un niveau de solidité et de fiabilité jamais atteint avec aucuns autres matériaux de construction, soit pour des immeubles résidentiels ou pour des établissements recevant du public comme les centres commerciaux, les cinémas ou les immeubles de bureaux. Cela veut aussi dire qu'en utilisant le béton, la sécurité des pompiers n'est pas mise en péril. Les composants porteurs et entourant l'espace du bâtiment en béton offrent une protection efficace aux pompiers, même s'ils sont à l'intérieur d'un bâtiment en feu. Ce n'est que dans ces conditions que de telles activités peuvent être menées avec des risques réduits. À cet égard, les recommandations délivrées par l'Institut national de normalisation et de technologie (NIST – National Institute of Standards and Technology) à la suite de l'effondrement des tours de très grande hauteur du World Trade Centre sont très pertinentes, voir l'étude de cas N° 4.

Dans le registre opposé des tours se trouvent les tunnels. Le béton y a également un rôle crucial à jouer dans le sauvetage de vies humaines, voir l'étude de cas N° 5.

ÉTUDE DE CAS N° 4

Les tours du World Trade Centre, New York (2001)

> Sans aucun doute, l'enquête du NIST à la suite du drame du World Trade Center à New York en 2001, est l'un des rapports les plus significatifs et les plus influents jamais écrits sur la sécurité dans les bâtiments (voir <http://wtc.nist.gov/> pour de plus amples renseignements). Le dernier ensemble de rapports, totalisant 10 000 pages, a été publié en 2006, après une enquête de trois ans sur les incendies, les bâtiments et la sécurité incendie dans ce qui a été décrit comme le plus grand drame de l'histoire, et dans lequel 2 800 personnes ont trouvé la mort. La majorité de ces

personnes étaient en vie au moment où les deux tours se sont effondrées. Le NIST a étudié les facteurs qui ont conduit aux causes probables de l'effondrement de ces deux tours de bureaux aux structures en acier et ont produit 30 recommandations sur les codes, normes et pratiques dans les domaines de la conception des structures et de la sécurité des personnes. Parmi ces nombreuses recommandations, le rapport du NIST appelle à :

- **Une intégrité renforcée des structures**, notamment la prévention de l'effondrement progressif et l'adoption de normes de tests acceptés au niveau national.
- **Une résistance au feu accrue des structures**, le besoin d'un accès et d'une évacuation en temps voulu, un déroulement complet de l'incendie sans effondrement partiel, une redondance des systèmes de protection contre les incendies, un compartimentage et une capacité à supporter les pires scénarii crédibles d'incendie sans que le bâtiment ne s'effondre.
- **De nouvelles méthodes de conception de résistance au feu des structures**, notamment la nécessité que les incendies non contrôlés ne provoquent pas l'effondrement partiel ou total du bâtiment.
- **Améliorer l'évacuation du bâtiment**, en maintenant l'intégrité des chemins d'évacuation pour permettre la survie.
- **Une protection active renforcée contre l'incendie** : des systèmes d'alarmes, de communication et d'extinction du feu.
- **Des technologies et des procédures d'urgence améliorées.**
- **Un renforcement des réglementations sur les sprinklers et les voies d'évacuation dans les bâtiments déjà existants.**

> Le Dr Shyam Sunder, responsable de l'enquête pour le NIST, a reconnu les circonstances exceptionnelles qui ont finalement conduit à l'effondrement des tours jumelles. D'après l'analyse et les tests, il explique que l'équipe du NIST a établi un certain nombre de priorités réalistes et réalisables concernant la fiabilité des structures. Le béton peut aisément remplir toutes ces recommandations.

> De plus, le rapport de la Société américaine des ingénieurs civils (ASCE – American Society of Civil Engineers) sur la fiabilité des matériaux face à l'impact de l'avion sur le bâtiment du Pentagone (attaqué au même moment), a conclu que la structure en béton armé avait largement contribué à empêcher que le bâtiment subisse des dégâts supplémentaires (ASCE, 2003). Il déclare que « la continuité, la redondance et la résilience de la structure ont participé à la bonne tenue du bâtiment » et recommande que ces caractéristiques soient à l'avenir intégrées aux immeubles, en particulier lorsque le risque d'effondrement progressif est jugé important.

ÉTUDE DE CAS N° 5

Contribution à la sécurité incendie dans les tunnels routiers

> L'Europe est parcourue par plus de 15000 kilomètres de tunnels routiers et ferroviaires. Ils font partie de l'infrastructure des transports et sont particulièrement importants dans les régions montagneuses, ainsi que dans les grandes villes où les tunnels libèrent la circulation dans les espaces urbains en les contournant. Le problème réside dans le fait que les accidents impliquant des véhicules peuvent causer des incendies extrêmement graves. Les incendies dans les tunnels ont tendance à atteindre des températures très élevées, à cause du carburant des voitures qui prend feu. On a signalé des températures s'élevant à 1350 °C, mais elles oscillent le plus souvent entre 1000 et 1200 °C. Les températures de pointe sont atteintes plus rapidement dans les tunnels que dans les incendies dans les bâtiments, principalement à cause des hydrocarbures contenus dans l'essence et le carburant diesel, mais aussi à cause du confinement (voir figure CS6.1).

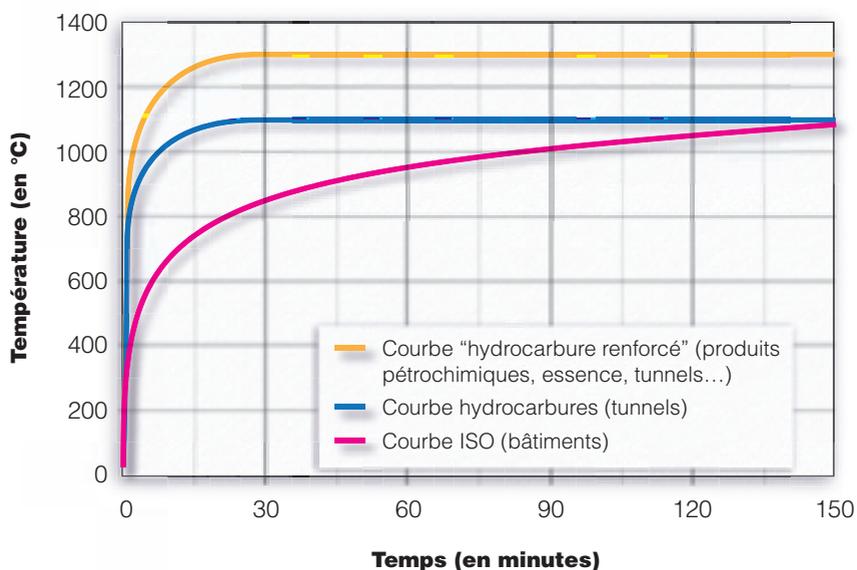


Figure 5.1 : les incendies dans les tunnels atteignent des températures très élevées (avec l'aimable autorisation de Denoël/Febelcem)

> Le groupe de réassurance Munich (2003) rapporte que le feu a vingt fois plus de risques d'éclater dans un tunnel routier que dans un tunnel ferroviaire et ces incendies extrêmes sont souvent meurtriers. L'espérance de vie, lorsque la personne est exposée à la fumée, est estimée à moins de deux minutes, en raison de la très grande toxicité des gaz produits. En outre, les incendies qui surviennent dans des zones éloignées des très longs tunnels peuvent brûler pendant très longtemps. L'incendie du tunnel du Mont-Blanc en 2001 a duré 53 heures. Les incidents majeurs tels que ceux du tunnel sous la Manche (1996), du Mont-Blanc (1999) et du Saint-Gothard (2001), ont mis en avant les conséquences désastreuses des incendies de tunnels et souligné les défauts des matériaux de construction et des solutions envisagées. En conséquence, les organismes de réglementation se sont principalement attachés à améliorer les conditions d'évacuation et de sauvetage dans les accidents survenant dans les tunnels routiers en se concentrant sur la sécurité, la solidité et la fiabilité des matériaux.

> Cependant, ni les uns ni les autres n'ont peut-être été suffisamment vigilants au matériau de construction des revêtements des routes et à son apport à la charge combustible. La conception et la construction des routes devraient être envisagées sous un angle plus global, en prenant en considération la solution du béton (CEMBUREAU, 2004). En cas d'incendie dans des tunnels routiers, une chaussée non combustible et non toxique comme le béton contribue à la sécurité aussi bien des passagers des véhicules que des équipes de sauvetage. Le béton remplit ces deux critères : il est non combustible, n'augmente pas la charge combustible, ne s'amollit pas (il n'entrave donc pas l'action des pompiers), ne se déforme, ni n'exsude de matière et n'émet pas de gaz toxiques dans un incendie, quelle que soit sa gravité. Le béton peut être utilisé comme revêtement de tunnel, seul ou avec un isolant thermique, mais il peut également être utilisé pour construire les chaussées. Il est particulièrement utile car il peut remplacer les revêtements bitumineux. Comparé à ces derniers, le béton garantit :

- Une sécurité renforcée : le béton ne brûle pas et ne produit pas de gaz toxiques (le revêtement bitumineux s'enflamme à des températures avoisinant 400-500 °C ; au bout de quelques minutes, il émet des vapeurs suffocantes et toxiques, de la fumée, de la suie et des matières polluantes). Dans l'incendie du Mont-Blanc, 1 200 mètres de chaussée bitumineuse ont brûlé avec une intensité comparable à la combustion de 85 voitures supplémentaires (CEMBUREAU, 2004).
- Une meilleure conservation de la chaussée, des installations et structures : le béton ne change pas de forme en chauffant, tandis que le bitume s'enflamme, perd sa stabilité dimensionnelle et entrave l'évacuation et le sauvetage.
- L'entretien et les réparations sont moins souvent nécessaires, par rapport aux chaussées bitumineuses.

- Une meilleure luminosité. La couleur du béton est plus claire : il brille et renforce la visibilité dans des conditions normales mais aussi en cas d'urgence.
 - Améliorer la pérennité du revêtement grâce aux chaussées en béton réduit le nombre de fermetures des tunnels et les travaux d'entretien routier. Les fermetures, entraînant des déviations, augmentent la pollution et mettent en danger les ouvriers travaillant sur le site.
- > Dans son guide complet sur la réduction des risques dans les tunnels, le réassureur international Munich Re (2003, p. 20), déclare qu'une chaussée constituée de matériau non combustible (par exemple, du béton au lieu de bitume) doit être envisagée dans les tunnels routiers. Des organismes officiels de réglementation ont reconnu le rôle du béton dans les tunnels routiers en matière de sécurité incendie. Depuis 2001, un décret autrichien exige que tous les nouveaux tunnels routiers dépassant un kilomètre de longueur optent pour une chaussée en béton. La Slovaquie utilise également des chaussées en béton dans tous ses nouveaux tunnels et le béton est recommandé pour la construction des nouveaux tunnels en Espagne et en Belgique (CEMBUREAU, 2004). Il est imposé en Algérie depuis 2008.



Les revêtements routiers en béton supporteront les températures extrêmes rencontrées dans les incendies de tunnels.

Tunnel du Sinaud (A51) : utilisation de chaussées en béton.

Il convient de rappeler que les incendies dans les tunnels ont tendance à être les plus violents. Avec ces températures très élevées, on peut s'attendre à un écaillage des surfaces en béton (voir le chapitre 2). De nombreux travaux de recherche ont été effectués pour développer des matériaux de revêtement qui réduisent l'écaillage des surfaces en béton lorsqu'elles sont exposées à des incendies de forte intensité (par exemple, Khoury, 2000). Il a été démontré que l'ajout de fibres monofilamentaires de polypropylène mélangées au béton (environ 2 kg par m³) est une solution efficace afin de réduire le risque d'écaillage.

4.3 - Protection de l'environnement assurée par le béton

Le béton ne produit pas d'émanations ni de gaz toxiques lors d'un incendie et il peut aider à éviter la propagation des incendies et de leurs fumées, néfastes pour l'environnement. L'utilisation de compartiments et de murs de séparation permet de limiter les volumes combustibles et réduit la quantité de produits de combustion, tels que la fumée, les émanations, les gaz toxiques et les résidus néfastes. En cas d'incendie, les cuvettes de rétention ou les digues de sécurité en béton peuvent également jouer des rôles de barrières de protection contre les débordements de liquides néfastes pour l'environnement ou l'eau utilisée (déjà contaminée) pour éteindre l'incendie. Pendant un incendie, le béton ne formera pas de dépôts de suie, difficile et dangereuse à éliminer.

4.4 - La sécurité incendie des immeubles d'habitation

Les exigences européennes en matière de sécurité incendie, ont mis l'accent sur le sauvetage des vies humaines dans les immeubles d'habitation en raison des risques extrêmement importants. Les maisons et les immeubles d'habitation accueillent souvent une forte densité de population. Les charges combustibles du mobilier et des installations électriques peuvent être très élevées, sans oublier que les personnes endormies courent de plus grands risques que lorsqu'elles sont éveillées. En raison de tous ces facteurs, la conception de la sécurité incendie doit être considérée avec une attention particulière dans ces lieux d'habitation. Ce n'est pas l'effondrement de la structure à la suite d'un incendie qui est responsable de la majorité des décès dans les incendies d'habitation, mais l'inhalation de fumées ou de gaz produits par des matériaux en combustion et l'incapacité des occupants à évacuer qui en découle (Neck, 2002).

En Europe, deux rapports importants ont été rédigés, démontrant l'amélioration de la sécurité incendie dans les constructions en béton.

1. Comparaison de la sécurité incendie dans les immeubles d'habitation en béton et en bois d'œuvre

Le Professeur Ulrich Schneider, de l'Université de technologie de Vienne, a identifié, en comparant la sécurité incendie dans les constructions à ossature en bois et en béton, sept risques spécifiques liés à l'utilisation de matériau de construction combustible (tel que le bois d'œuvre) dans la conception et l'enveloppe d'un bâtiment (Schneider et Oswald, 2005). Ils sont présentés dans l'encadré 1.

ENCADRÉ 1 : RISQUES LIÉS À L'UTILISATION DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION COMBUSTIBLES

1. Augmentation de la charge combustible.
2. Augmentation de la fumée et des éléments produits par la pyrolyse.
3. Augmentation des quantités de monoxyde de carbone.
4. Embrassement des éléments structuraux.
5. Embrassement des parois creuses de construction (panneaux de remplissage).
6. Danger de combustion couvante et de foyers imperceptibles (poches de braises).
7. Accroissement de la fréquence des embrasements généralisés (flash-over).

Le Professeur Schneider a poursuivi son étude des statistiques de décès liés aux incendies dans divers pays et mis en évidence un lien certain entre le nombre de victimes d'incendie et les matériaux de construction utilisés dans les bâtiments, comme l'indique la figure 4.1. Son étude détaillée des données sur la construction classique en bois d'œuvre a montré que la survenue d'un incendie pouvait se produire via l'inflammation et l'effondrement d'éléments structuraux et non structuraux et via les raccords métalliques à l'intérieur de la structure en bois d'œuvre, qui mollissent au contact du feu et perdent leur capacité portante. Schneider a également découvert que la propagation du feu entre des pièces et/ou des appartements adjacents était considérablement accélérée dans les bâtiments dans lesquels les matériaux de bois d'œuvre ou les gaines avaient été utilisés pour la construction du mur externe. Le Professeur Schneider en conclut que la construction à ossature en bois a « une multitude de points faibles en termes de sécurité incendie » et recommande que « les structures d'ossature en bois d'œuvre puissent en principe être uniquement sécurisées, en utilisant des systèmes d'extinction

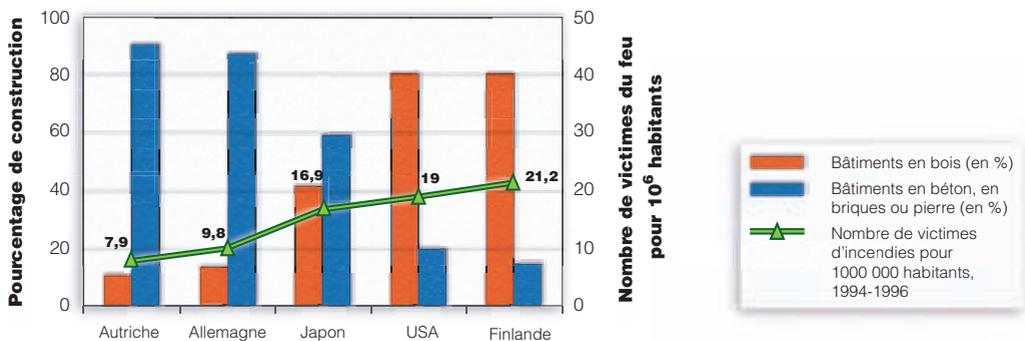


Figure 4.1 : le nombre de victimes d'incendies comparé au type de construction dans cinq grands pays (1994-1996) (CTU, Vienne, Schneider et Oswald 2005).

ÉTUDE DE CAS N° 6

Incendie d'un bâtiment à ossature bois, en cours de construction, (Colindale) Londres (2006)

> Lors de la construction d'un important complexe résidentiel au Nord de Londres, un incendie a éclaté et plusieurs bâtiments de six étages, dont l'ossature était en bois d'œuvre, se sont enflammés (voir photo). L'incendie a duré pendant cinq heures, 100 pompiers et 20 véhicules d'extinction ont été nécessaires pour le contrôler. Des témoins ont signalé que quelques minutes avaient suffi pour que les bâtiments soient détruits. Peu de temps après l'incendie, une station de surveillance de la pollution atmosphérique a enregistré une augmentation significative de particules, pouvant être dangereuses pour les personnes souffrant de troubles respiratoires. Environ 2 500 personnes ont été évacuées, une route principale a été fermée pendant deux heures et une résidence universitaire a été gravement touchée, au point que les étudiants n'ont pas pu y retourner. Heureusement, l'ensemble résidentiel n'était pas occupé par ses nouveaux résidents et le collège était très peu fréquenté pendant les vacances d'été. Néanmoins, la perturbation a été considérable. Des agents de contrôle des immeubles ont exprimé leurs craintes, remarquant que « si l'on a un plancher en béton et



qu'un incendie éclate, il ne se propagera pas. Mais avec du bois d'œuvre, le feu va se propager. » (Building Design, 21/07/06, p. 1). Au moment de la rédaction de cette brochure, au moins un bâtiment de l'ensemble résidentiel devait encore être reconstruit – avec du béton, cette fois-ci.

À Colindale, l'incendie a fait rage pendant cinq heures dans les ossatures des bâtiments d'habitation, partiellement construites en bois d'œuvre. 100 pompiers et 20 véhicules d'extinction ont été nécessaires pour le contrôler.

automatique ou en utilisant des matériaux de revêtement non inflammables ainsi que pour les gaines. Ces directives ont été préconisées pour la construction d'ossatures en bois » (Schneider et Oswald, 2005).

2. Évaluation indépendante des dégâts causés par les incendies

En Suède, Olle Lundberg a entrepris une enquête indépendante sur le coût que représentaient les dégâts causés par le feu, en fonction du matériau utilisé. Il s'est fondé sur des statistiques obtenues auprès de l'association des assurances de

Suède (Forsakringsfor-bundet). L'étude était limitée aux incendies les plus importants survenus dans des immeubles abritant plusieurs familles, dans lesquels la valeur de la structure assurée dépassait 150 000 Euros. Elle couvrait 125 incendies survenus entre 1995 et 2004.

Les résultats de l'enquête ont montré que :

- le coût de l'assurance par incendie et par appartement dans des maisons en bois est en moyenne cinq fois plus élevé que celui des incendies dans des maisons en béton/maçonnerie (environ 50 000 euros, comparés à 10 000 euros) ;
- un grave incendie a 11 fois plus de risques d'éclater dans une maison en bois que dans une maison construite en béton/maçonnerie ;
- parmi les maisons brûlées, 50 % des maisons en bois ont dû être démolies, comparé à seulement 9 % pour le béton ;
- le feu s'est propagé aux appartements voisins dans seulement trois des 55 incendies survenus dans des maisons en béton ;
- sur les 55 incendies des constructions en béton, 45 se trouvaient au grenier et dans la toiture. Habituellement le feu se déclenche dans les étages supérieurs et se propage aux combles puis à la toiture (bois).

Ces recherches démontrent clairement les risques associés à l'ossature en bois d'œuvre des bâtiments et soulignent la nécessité de prendre en considération tous les avantages des constructions en béton et en maçonnerie, au niveau de la sécurité incendie. Comme cela a déjà été souligné auparavant, de par l'association de la non-combustibilité et du bouclier thermique très efficaces du béton, celui-ci s'avère le meilleur choix pour la construction d'immeubles d'habitation sécurisés.

4.5 - Le béton empêche la propagation du feu à la suite de tremblements de terre

La prise en compte de calculs sismiques qui sont appliqués dans certains pays contraint les concepteurs à se pencher avec attention sur le problème spécifique des incendies à la suite de tremblements de terre. Ce problème a été dûment pris en considération dans des pays comme la Nouvelle-Zélande, dans lequel les structures en béton ont été identifiées comme ayant le niveau le plus bas de vulnérabilité à la propagation du feu à la suite de tremblements de terre (Wellington, Lifelines Group, 2002).

Protection des biens et des activités commerciales

**5.1 - Le béton protège avant, pendant
et après l'incendie**

**5.2 - Avec le béton, la protection contre
les incendies n'engage pas de frais
supplémentaires**

**5.3 - Avec le béton, les primes d'assurance
sont réduites**

**5.4 - La résistance au feu du béton permet
aux pompiers de protéger les biens**

Le béton protège les biens personnels – la protection que représente le béton contre le feu garantit une sécurité accrue des biens et une reprise rapide des activités professionnelles.

Les bâtiments et structures en béton assurent la protection des personnes et des biens contre les dangers du feu. Naturellement, la sécurité des personnes est considérée comme primordiale, aussi bien lors de la conception des bâtiments que dans les situations d'urgence. Cependant, pour des raisons de survie économique, les propriétaires privés, les compagnies d'assurance et les autorités nationales sont également concernés par la sécurité incendie. Ces facteurs sont pris en compte dans la législation européenne sur la sécurité incendie (voir le chapitre 1), l'un des trois objectifs principaux reposant en particulier sur la protection des biens, des tiers et la préservation du bâtiment lui-même.

5.1 - Le béton protège avant, pendant et après l'incendie

Selon les estimations effectuées, le coût financier total des dégâts causés par les incendies représente généralement entre 0,2 et 0,3 % du produit national brut (PNB) par an (voir tableau 5.1). Cela équivaut à plusieurs millions d'euros pour les pays européens. Pourtant, ces chiffres ne donnent pas d'indication pertinente sur les conséquences de l'impact des incendies – Denoël -Febelcem (2006). Dans le magazine *Usine Enterprise* (2004), on peut lire que plus de 50 % des entreprises font faillite après avoir subi un grave incendie.

Pour les entreprises commerciales comme les entrepôts, les hôtels, les usines, les immeubles de bureaux et les centres commerciaux, les incendies perturbent le fonctionnement et la productivité des entreprises et interrompent les services apportés à la clientèle. Ces perturbations causent de graves problèmes qui peuvent conduire à des pertes d'emploi ou à la fermeture de l'entreprise.

Quoi qu'il en soit, l'impact sur certains bâtiments pourrait être lourd de conséquence. Parmi ces bâtiments on peut citer les hôpitaux, les gares ferroviaires, les postes d'alimentation en eau et les centrales électriques, les bâtiments de l'État, les installations de stockage de données et de communication. La perturbation du fonctionnement de ces types de bâtiments peut s'avérer catastrophique.

Tableau 5.1 : données statistiques internationales sur les incendies survenant dans des bâtiments en 1994-1996 (Neck, 2002)

Pays	Coûts des dégâts directs et indirects des incendies (% du PNB)	Nombre de décès pour 100 000 habitants par an	Coûts des mesures de protection contre les incendies (% du PNB)	Coûts des dégâts et des mesures de protection (% du PNB)
Autriche	0,20	0,79	NC	NC
Belgique	0,40 (1988-1989)	1,32	NC	0,61
Danemark	0,26	1,82	NC	NC
Finlande	0,16	2,12	NC	NC
France	0,25	1,16	2,5	0,40
Allemagne	0,20	0,98	NC	NC
Italie	0,29	0,86	4,0	0,63
Norvège	0,24	1,45	3,5	0,66
Espagne	0,12 (1984)	0,77	NC	NC
Suède	0,24	1,32	2,5	0,35
Suisse	0,33 (1989)	0,55	NC	0,62
Pays-Bas	0,21	0,68	3,0	0,51
Royaume-Uni	0,16	1,31	2,2	0,32
USA	0,14	1,90	NC	0,48
Canada	0,22	1,42	3,9	0,50
Japon	0,12	1,69	2,5	0,34

NC: Non communiqué

5.2 - Avec le béton, la protection contre les incendies ne nécessite pas de frais supplémentaires

Cela peut paraître surprenant dans la mesure où les données mondiales sur le coût de la protection contre les incendies indiquent que 2 à 4 % environ des coûts de construction sont généralement imputés aux mesures de protection contre les incendies (voir le tableau 5.1). Avec le béton, cette protection fait partie intégrante du matériau et **elle est donc gratuite**.

Le béton possède une « réserve » de sécurité incendie et le bâtiment conserve un bon niveau de sécurité même après un changement d'activité ou une transformation.

Les propriétés de « sécurité incendie » du béton ne s'altèrent pas avec le temps et restent stables sans nécessiter de frais de maintenance.

Les propriétés de résistance au feu des éléments de structure en béton leur permettent de remplir pleinement les exigences économiques de protection contre

les incendies. Les modifications de la réglementation de sécurité incendie n'auront alors que peu d'effet. Si un incendie se déclare, l'investissement dans un bâtiment en béton semblera alors tout à fait justifié.

- Les propriétés de résistance au feu du béton font que **l'incendie est limité à une zone réduite**, une pièce ou un compartiment, minimisant le champ et le degré des réparations nécessaires.
- **Les travaux de réparation sur les bâtiments en béton touchés par le feu sont généralement mineurs**, rapides et peu coûteux, car ce sont souvent des zones réduites de la surface du béton qui nécessiteront des réparations – la démolition partielle ou totale est inutile (voir le chapitre 2).
- **Les parois et les planchers des compartiments en béton empêchent la propagation du feu.** Les pièces adjacentes dans une usine, un entrepôt, un bureau, ou les étages adjacents dans un immeuble d'habitation, peuvent continuer de fonctionner normalement lorsque l'urgence est passée, quel que soit l'état de la zone touchée par l'incendie.
- Dans les locaux industriels et commerciaux, **les murs de séparation coupe-feu en béton évitent la perte de biens de valeur**, tels que le matériel, les équipements ou les biens emmagasinés, limitant ainsi l'impact de l'incendie sur l'entreprise et atténuant l'importance de la déclaration de sinistre.
- L'expérience montre que dans les bâtiments en béton, **les dégâts des eaux après un incendie sont négligeables.**

5.3 - Avec le béton, les primes d'assurance sont réduites

Tout incendie cause une perte économique. Dans la plupart des cas, ce sont les assureurs qui paient les dégâts causés. Pour cette raison, les compagnies d'assurance entretiennent des bases de données précises et complètes du comportement au feu de tous les matériaux de construction. Elles savent que le béton offre une excellente protection contre les incendies ; cela permet donc la réduction des primes d'assurance.

Dans toute l'Europe, les primes d'assurance pour les bâtiments en béton ont tendance à être moins élevées que pour les bâtiments fabriqués avec d'autres matériaux (qui sont plus souvent sévèrement touchés ou même détruits par le feu). Dans la plupart des cas, les bâtiments en béton sont classés dans la catégorie la plus favorable pour l'assurance contre les incendies, en raison de sa résistance et de sa protection reconnues. Bien entendu, chaque compagnie d'assurance aura ses propres grilles d'évaluation et listes de primes ; elles varient d'un pays à

l'autre. Mais en raison de l'historique positif du béton, la plupart d'entre elles offrent des avantages aux propriétaires de bâtiments fabriqués avec ce matériau. Pour calculer une prime, les assureurs prendront en compte les facteurs suivants :

- le matériau de construction ;
- le type de matériau employé pour la toiture ;
- le type d'activité et l'utilisation du bâtiment ;
- la distance avec les bâtiments avoisinants ;
- la nature des éléments de construction ;
- le type de système de chauffage ;
- les installations électriques ;
- la protection et l'anticipation (l'état de préparation).

ÉTUDE DE CAS N° 7

Les primes d'assurance pour les entrepôts

> Malheureusement, très peu de données sur les coûts d'assurance sont mises à la disposition du public, mais plusieurs études comparatives existent. En France, Cimbéton (2006) a publié un résumé et un modèle du coût de l'assurance fondé sur le point de vue des assureurs sur les entrepôts/bâtiments industriels de plain-pied. L'étude explique que les primes d'assurance reposent sur un certain nombre de facteurs, notamment l'activité au sein du bâtiment et le matériau de construction utilisé. Le matériau du bâtiment est sans aucun doute important – la structure, les murs extérieurs, le nombre d'étages, le recouvrement de la toiture et le mobilier sont pris en compte dans les calculs. Les résultats montrent clairement à quel point le béton est préférable aux autres matériaux, comme l'acier et le bois d'œuvre, pour toutes les parties du bâtiment.

Par exemple, le choix du béton pour l'ossature et les murs d'un entrepôt de plain-pied constitue une réduction potentielle de 20 % sur la prime « standard/moyenne » acquittée. A contrario, si l'on opte pour une ossature en acier et un bardage, on ajoutera entre 10 et 12 % à la prime « standard », obtenant ainsi une différence d'au moins 30 % au total. En calculant la prime finale, les assureurs prennent également en compte l'équipement de sécurité, les mesures de prévention et d'extinction du feu, notamment le compartimentage – une option de prévention contre les incendies dans laquelle le béton excelle.

Table 5.2 : Les primes d'assurance pour un entrepôt de 10 000 m² (de plain-pied, sans mobilier) ; somme totale assurée : 25 millions d'euros (Cimbéton, 2006).

Construction	Prime annuelle (sans les taxes) taux annuel moyen = 50 000 euros
Béton	40 000 euros (20 % de moins que le taux moyen)
Acier	56 000 euros (12 % de plus que le taux moyen)

ÉTUDE DE CAS N° 8 Les abattoirs, Bordeaux (1997)

> Causé par un court-circuit dans le plafond, cet incendie spectaculaire s'est propagé très rapidement, envahissant 2 000 m² en 10 minutes. Les pompiers ont mis trois heures à contrôler le feu; pendant ce temps, la moitié des 9 000 m² du bâtiment avait brûlé.

Cette propagation extrêmement rapide a été causée par l'embrassement d'un matériau isolant combustible contenu dans les panneaux sandwich utilisés pour la façade du bâtiment – les pompiers n'ont pas pu empêcher le feu de se propager sur les 130 mètres de façade (comme le montre la photo). Bien entendu, la propagation de l'incendie aurait pu être limitée par la division du bâtiment en compartiments à l'aide de murs en béton et en utilisant des panneaux en béton pour la façade.



Les panneaux sandwich, métalliques et légers, ont cédé dans cet incendie d'un abattoir à Bordeaux, en janvier 1997. L'incendie s'est propagé dans tout le bâtiment et les bâtiments adjacents.

ÉTUDE DE CAS N° 9

Incendie dans un entrepôt de vêtements, Marseille (1996)

> Le feu s'est propagé très rapidement dans cet entrepôt de vêtements et d'équipements sportifs, où 40 employés travaillaient au moment du drame. En cinq minutes, tout le bâtiment était en feu, les biens enflammés produisaient une grande quantité de fumée et de chaleur. Il n'y avait ni extincteur automatique ni mur de séparation et la structure du bâtiment a perdu sa stabilité dans l'incendie, ce qui a provoqué la destruction complète de l'entrepôt, comme on peut le voir sur la photo ci-dessous. Le vent a favorisé la propagation du feu, menaçant les entrepôts avoisinants à 10 mètres de distance. Le personnel qui y travaillait a dû être évacué. Les autres bâtiments n'ont pu être sauvés que grâce à l'intervention des pompiers qui ont produit un mur d'eau.

Vue aérienne d'un entrepôt détruit par le feu au nord de Rognac, près de Marseille, montrant comment le feu s'est propagé dans tout le bâtiment, qui était dépourvu de murs de séparation en béton. (Avec l'aimable autorisation de SDIS 13, Sapeurs-pompiers des Bouches du Rhône)



5.4 - La résistance au feu du béton permet aux pompiers de protéger les biens

Bien que la législation européenne, exige la protection des personnes, des biens et de l'environnement, dans la plupart des cas, les protocoles liés à l'intervention des sapeurs-pompiers dans un bâtiment en feu tendent à placer la priorité sur le sauvetage des occupants. Par exemple, les pompiers peuvent se montrer très réticents à l'idée d'entrer dans un bâtiment en feu si tous les occupants ont été évacués. Mais ils s'efforceront toujours d'approcher le bâtiment aussi près que possible pour lutter efficacement contre les incendies. Les façades en béton apportent une protection permettant cette approche. Une fois certains que tous les occupants sont saufs, les pompiers peuvent juger qu'il est plus important d'empêcher le feu de se propager aux propriétés adjacentes et d'évaluer les risques causés par les produits de combustion sur l'environnement. Cette approche

compréhensible confirme la nécessité de l'évacuation des personnes en toute sécurité au moins pendant la période réglementaire de résistance au feu.

En France, des recherches ont montré que sur les 13 000 incendies survenant chaque année, 5 % se produisent dans des bâtiments industriels; un grave incendie peut entraîner des pertes d'exploitation s'élevant à deux millions d'euros (Cimbéton, 2006). Dans ces bâtiments, les stocks plus ou moins importants peuvent être hautement combustibles ce qui représente un risque significatif d'effondrement du bâtiment, à moins d'utiliser des compartiments pour diviser les stocks et la charge combustible.

Dans cette optique, prenons l'exemple d'un propriétaire d'entrepôt qui souhaite réduire le préjudice causé à ses stocks en cas d'incendie, mais qui sait que les sapeurs-pompiers tiendront peut-être à combattre le feu à une distance sécurisée, depuis l'extérieur du bâtiment. Dans ce cas, le béton peut fournir plusieurs avantages.

1. Selon le type de stock et la taille du compartiment, la charge combustible dans ces bâtiments peut être importante. Espacés de façon régulière, **des murs de séparation internes en béton réduiront le risque de propagation du feu** d'une pièce à l'autre, diminuant ainsi l'ampleur des dégâts.

2. Avec les bâtiments de plain-pied, formés d'un compartiment unique à grande travée, il existe un risque particulièrement élevé d'effondrement soudain du toit. **Les murs en béton maintiendront leur stabilité**, et même si une charpente de combles s'effondre, les murs ne devraient pas plier ou s'effondrer, mettant en danger les zones adjacentes.

3. Les façades en béton résistantes au feu (classées dans la catégorie REI 120) empêchent la propagation du feu et protègent les pompiers (voir la figure 1.2). **Les façades en béton permettent aux pompiers d'approcher environ deux fois plus près du feu**, car elles agissent comme des écrans thermiques.

4. **Les murs externes en béton sont d'une telle efficacité pour empêcher la propagation du feu** entre les bâtiments que les réglementations de certains pays (notamment la France), autorisent la diminution des distances entre les bâtiments adjacents.

5. **Un toit en béton sera non combustible**, c'est-à-dire qu'il appartiendra à la catégorie A-1 (résistance au feu) et n'exsudera pas de particules fondues.

ÉTUDE DE CAS N° 10

Marché de fleurs international de Rungis, Paris (2003)

> Cet entrepôt en béton de 7 200 m² consacré au conditionnement de fleurs a survécu en grande partie à un incendie dévastateur en juin 2003. Les murs et le plafond ont bien supporté l'incendie. La combustion des matières utilisées pour les bouquets et les emballages a provoqué une importante émission de chaleur et de fumée accentuée par la présence d'essences aromatiques. La majeure partie du sud de Paris a été touchée par la fumée, dans la mesure où une zone de 1 600 m² de marchandises a été détruite. Bien que 100 m² du bâtiment se soient effondrés, l'incendie a pu être contenu dans la zone où il s'était déclenché. Le bâtiment a été très vite réparé et les activités ont repris.



Vue extérieure de l'entrepôt de fleurs de Rungis, qui a pu reprendre son activité six mois après l'incendie.



Les dégâts à l'intérieur de l'entrepôt, ont été rapidement réparés.

PROMÉTHÉE

> Centre d'essais au service de la recherche et du développement, PROMÉTHÉE contribue à l'approche globale du niveau de sécurité des structures en cas d'incendie. Il complète l'approche multi-échelle (essais, modélisation numérique...) implanté au CERIB, centre d'études et de recherches de l'industrie du béton.

PROMÉTHÉE est en parfaite cohérence avec les récents travaux menés dans le cadre de l'ingénierie de la sécurité incendie, et accompagne leur développement.



CERIB

Centre d'Études et de Recherches
de l'Industrie du Béton
BP 30059 - 28231 ÉPERNON CEDEX
Tél. 02 37 18 48 00 - Fax 02 37 83 67 39
e.mail : cerib@cerib.com - www.cerib.com



Chapitre

6

Le béton et l'ingénierie de la sécurité incendie

**6.1 - L'Ingénierie de la sécurité
incendie, grands principes**

**6.2 - L'ingénierie de la sécurité
incendie, sa pratique**

Le béton offre une résistance au feu intégrée, les propriétaires de bâtiments n'ont pas besoin d'envisager d'autres moyens pour protéger les personnes et les biens.

6.1 - L'Ingénierie de la sécurité incendie, grands principes

L'Ingénierie de sécurité incendie (ISI, « FSE » en anglais - Fire Safety Engineering) est une façon relativement nouvelle d'établir les mesures de protection contre l'incendie, en se basant sur les performances plutôt que sur des tableaux de données chiffrées. Elle a principalement été utilisée pour de grandes structures complexes (comme des aéroports, des centres commerciaux, des grandes salles d'exposition et des hôpitaux) pour minimiser les besoins en matière de protection contre les incendies. Il n'existe pas de définition unique de l'ISI, mais l'ISO la définit comme l'« application des méthodes d'ingénierie reposant sur les principes scientifiques pour le développement ou l'évaluation de conceptions dans l'environnement bâti, via l'analyse de scénarii d'incendie spécifiques ou la quantification du risque d'incendie dans un groupe de scénarii d'incendies » (ISO/CD).

La procédure de conception utilisée dans l'ingénierie de la sécurité incendie tient compte des facteurs suivants pour calculer la valeur de la charge combustible, à partir de laquelle des éléments individuels de la structure peuvent être évalués et la probabilité d'un incendie causant un endommagement de la structure peut être établie :

- la densité caractéristique de charge combustible par unité de surface du sol (les valeurs sont données dans l'EC1, partie 1-2) affectée par le facteur de combustion ;
- le risque d'incendie dû à la taille du compartiment (les grands compartiments représentent un plus grand facteur de risque) ;
- la probabilité de déclenchement d'incendie, reposant sur les occupants et sur le type d'utilisation du bâtiment (facteur d'utilisation) ;
- les conditions de ventilation et de dégagement de la chaleur.

La méthode de calcul prend en compte toutes les mesures actives de lutte contre l'incendie à l'intérieur du bâtiment. Le résultat de la combinaison de ces mesures est le cinquième et dernier facteur intervenant dans le calcul de la charge combustible, comprenant :

- la détection automatique de l'incendie (par exemple, les alarmes à incendie, les détecteurs de fumée, la transmission automatisée de l'alarme à une caserne de pompiers) ;

- l’extinction automatique de l’incendie (par exemple, les sprinklers/eau, les systèmes d’extinction à base d’eau, la mise à disposition d’une alimentation en eau indépendante);
- la suppression manuelle de l’incendie (par exemple, des corps de pompiers sur place, l’intervention immédiate d’un corps de pompiers local/extérieur).

6.2 - L’ingénierie de la sécurité incendie, sa pratique

Il n’existe pas de règles communes en matière d’ingénierie de la sécurité incendie; un logiciel facile à utiliser est en cours de développement et les approches en fonction de l’expérience et des niveaux d’acceptation varient considérablement selon les autorités. L’ISI doit être utilisée prudemment par des experts appropriés et ses hypothèses doivent être correctement évaluées. De graves inquiétudes ont été exprimées au sujet de la validité et de la précision des calculs fondés sur la probabilité, notamment des critiques sur le fait qu’un calcul défectueux de l’ISI pourrait conduire à un drame. D’autres ont exprimé leur crainte que des tentatives d’utilisation de l’ISI par des personnes novices et non expertes mènent à une mauvaise interprétation des calculs et à des résultats erronés. Compte tenu de la grande variabilité des paramètres, les calculs pourraient mettre en lumière les points suivants (liste non exhaustive) :

- **Les taux de réussite des pompiers** : encore une fois, les valeurs moyennes sont fournies, mais il est évident qu’elles ne sont pas applicables à tous les bâtiments; on observera une variation significative au niveau de la performance.
- **Le comportement humain** : on émet des hypothèses sur le comportement des personnes en cas d’urgence, mais il existe un très grand degré de variabilité lié au comportement de la foule et aux moyens d’évacuation.
- **La fiabilité des systèmes de sprinklers** : les valeurs moyennes sont données, mais il existe de nombreux types de systèmes adaptés à tous les types de bâtiments.
- **Les incendies criminels ou intentionnels** (prémédités, par exemple) – ces incendies ne sont pas suffisamment couverts. Certains types de bâtiments et de lieux seront naturellement plus susceptibles d’être la cible d’un incendie criminel.

Certaines statistiques sur la performance observée des systèmes de sprinklers indiquent leur médiocre fiabilité. Febelcem (2007) et PCI (2005) rapportent des découvertes faites aux États-Unis, où l’Association nationale de protection contre l’incendie (NFPA – National Fire Protection Association) a observé que les sprinklers avaient été défaillants dans 20 % des incendies survenus dans des hôpitaux/bureaux, dans 17 % des incendies dans des hôtels, 13 % des incendies dans des appartements et 26 % des incendies de bâtiments publics, menant à un taux d’échec national de 16 % en moyenne (chiffres de 2001). Les chiffres obtenus en Europe, cités dans la même publication, présentent un tableau légèrement meilleur.

Le taux de succès des sprinklers analysé par classe de risque a indiqué les résultats suivants :

- bureaux (risque faible) 97,4 % de réussite ;
- commerce (risque moyen) 97,2 % de réussite ;
- industrie du bois d'œuvre (risque élevé) 90,8 % de réussite.

D'autres sources prétendent que beaucoup d'échecs sont dus à l'intervention humaine au niveau des têtes des extincteurs (par exemple, elles sont couvertes de peinture, éléments accrochés, etc.). Néanmoins, l'efficacité des systèmes de sprinklers peut être influencée par l'interaction



Tête de colonne d'acier gravement déformée par un incendie.

entre les extincteurs de fumée (dégazage) et les systèmes de sprinklers. Un certain nombre d'études ont montré que l'eau de l'arroseur refroidissait le panache de fumée, supprimant sa poussée vers le haut ; la fumée ne s'élève donc pas, ce qui provoque une perte de visibilité pendant l'évacuation (Heselden, 1984 ; Hinkley et Illingworth, 1990 ; Hinkley et al, 1992). De plus, la suppression du mouvement vers le haut du panache de fumée par un système de dégazage mécanique et automatisé empêche les gouttes d'eau des sprinklers de s'abattre et donc de combattre efficacement le feu.

Les procédures de calcul utilisées dans l'ISI reposent sur l'hypothèse que la prise en compte des différentes mesures actives de lutte contre les incendies réduit la probabilité d'endommagement de la structure. Combiner ces mesures a un effet multiplicateur, réduisant davantage la densité de calcul de la charge combustible dans le bâtiment. Cette méthode de calcul réduit donc la protection contre l'incendie nécessaire dans un bâtiment. Il en résulte que certains matériaux de construction, fragiles lors d'un incendie et dépendant fortement de mesures actives de lutte contre les incendies, peuvent apparaître comme des options structurales viables.

Dans l'ISI, la capacité de résistance au feu d'une structure est obtenue en combinant le système d'extinction du feu et la protection appliquée à la structure.

Mais l'application de l'ISI peut conduire à un échec dans la protection d'un bâtiment, de ses occupants ou de ce qu'il contient. Voir l'encadré 2 ci-après.

Dans les situations normales, le béton est le seul matériau pouvant apporter une solide résistance au feu, sans l'assistance de mesures actives ; c'est une mesure passive de lutte contre l'incendie qui agira en toute fiabilité lorsque les mesures

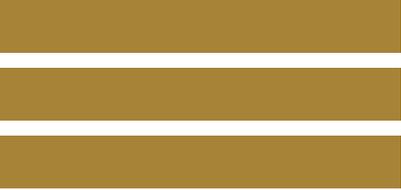
ENCADRÉ 2 : POURQUOI LES STRATÉGIES DE L'ISI POURRAIENT NE PAS FONCTIONNER

- > Le système d'extinction de l'incendie peut ne pas être efficace :
 - il est défaillant ;
 - il n'est pas adapté à l'incendie.
- > La protection contre l'incendie peut ne pas fonctionner :
 - elle est défaillante ;
 - elle est ancienne ;
 - elle est détériorée ;
 - elle n'est pas adaptée à l'incendie.
- > À ce stade, la capacité de résistance au feu de la structure reviendra à la résistance stricte au feu des matériaux qui la composent ; qu'il s'agisse de béton, de bois d'œuvre, de briques ou d'acier. Dans ce cas, la stratégie de l'ISI peut échouer.

Des éléments de structure non protégés en bois ou en acier soumis à un incendie plus sévère que celui évalué théoriquement ne présenteront pas suffisamment de capacité portante sans l'intervention de systèmes actifs de protection.

actives feront défaut. L'ingénierie de sécurité incendie peut sous-évaluer les mesures passives reconnues qui ne nécessitent pas de maintenance, comme la construction en béton, et pourrait pousser à se fier démesurément à des systèmes actifs non fiables : cela pourrait avoir un effet déplorable et mettre potentiellement des vies et des biens en danger.

Avec le béton, les mesures de sécurité incendie s'appliquent toujours, même en cas de changement de son affectation, car la résistance au feu des éléments en béton est assurée par le béton lui-même. Lorsque la protection est fournie par l'ISI, elle ne s'appliquera qu'à des situations où l'utilisation reste la même. Cela s'explique par le fait que les mesures de l'ISI sont déterminées par la prise en compte de l'utilisation du bâtiment. Si l'un des éléments change, par exemple la charge combustible, alors la protection fournie par les mesures actives ou passives ne pourrait ne plus suffire.



Chapitre

7

Intérêts complémentaires du béton

Le béton assure bien plus qu'une protection contre le feu.

Les propriétés de résistance au feu du béton, excellentes et reconnues, assurent la protection des personnes, des biens et de l'environnement en situation d'incendie. Ces propriétés remplissent les objectifs de protection établis par la législation européenne.

Chacun peut en tirer parti, des usagers, propriétaires, entrepreneurs jusqu'aux résidents et assureurs, organismes de réglementation et pompiers.

Utilisé dans les immeubles d'habitation, les entrepôts industriels ou les tunnels, le béton est formulé de façon à conserver sa solidité, même dans les situations d'incendies les plus extrêmes.



- > Non seulement le béton a des propriétés supérieures de résistance au feu, mais il fournit également une inertie thermique et une isolation acoustique importante.
- > L'association de ces trois qualités de performance permet au concepteur d'optimiser les avantages potentiels du béton. Par exemple, en installant un mur de séparation en béton entre des compartiments adjacents résistant au feu, on apporte une protection nécessaire contre les incendies, on augmente la masse thermique pour aider à maintenir les températures constantes, et on apporte une séparation acoustique entre les espaces. Tout ceci est possible avec un seul matériau, sans devoir compter sur des mesures actives, sur l'ajout d'une isolation supplémentaire ou de matériaux intumescents, ou avoir recours à des rénovations ou à des opérations de maintenance. Dans cette perspective, il apparaît clairement que le béton présente un avantage économique majeur à long terme mais surtout un avantage de sécurité incendie à long terme.

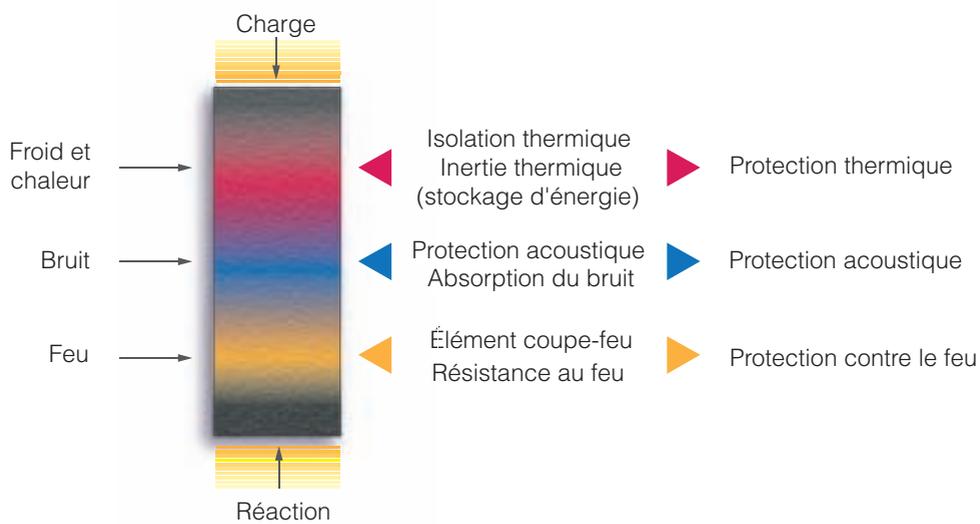


Figure 7.1 : les avantages combinés du béton



Chapitre

8

Références

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (2003) The Pentagon building performance report, ASCE, Washington, USA. 64 pp.
- BEESE G and KÜRKCHÜBASCHÉ R. (1975). Hochhaus Platz der Republik in Frankfurt am Main. Teil III Der Brand vom 22 August 1973. Beton- und Stahlbetonbau, 70 (1975) H. 8, S. 184/188. Allemagne.
- CEMBUREAU (2004). Improving fire safety in tunnels: the concrete pavement solution, CEMBUREAU, Bruxelles, Belgique. 8 pp.
- CEN. EN 1991-1-2 (2002). Eurocode, Part 1-2: Actions on structures - General actions - Actions of structures exposed to fire. CEN, Bruxelles, Belgique.
- CEN (2005). EN 1992-1-2 (2005) Eurocode 2 Part 1-2: Design of concrete structures - General rules - Structural fire design. CEN, Bruxelles, Belgique.
- CEN (2002) EN 13501-1. Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. CEN, Bruxelles, Belgique.
- CHANA P and PRICE B (2003). The Cardington fire test, Concrete - the magazine of The Concrete Society, January, pp. 28 - 33. Camberley, Royaume-Uni.
- CIMBÉTON - CSTB (2009). CIM'feu EC2. Logiciel de prévision par le calcul de la résistance au feu des structures en béton. Exemples d'application. Disponible gratuitement sur demande à centrinfo@cimbéton.net
- DENOËL J-F (2006). Dossier ciment 37: La protection incendie par les constructions en béton, Febelcem, Bruxelles, Belgique. 20 pp. (versions FR et NL téléchargeable sur le site Internet www.febelcem.be)
- DENOËL J-F (2006). Fire safety and concrete structures (French and English), Febelcem, Bruxelles, Belgique. 80 pp (versions FR, NL et UK téléchargeable sur le site Internet www.febelcem.be).
- HESELDEN A J M. (1984). The interaction of sprinklers and roof venting in industrial buildings: the current knowledge. BRE, Garston, Royaume-Uni.
- HINKLEY P L and ILLINGWORTH P M. (1990). The Ghent fire tests: observations on the experiments, Colt International, Havant, Hants, Royaume-Uni.
- HINKLEY P L, HANSELL G O, MARSHALL N R, and HARRISON R (1992). Sprinklers and vent interaction, Fire Surveyor, 21 (5) pp. 18-23. Royaume-Uni.
- HORVATH S, - CIMBÉTON (2002). Fire safety and concrete: fire safety and architectural design, Cimbéton, Paris, France. 13 pp. presented at 1st Advanced Seminar on Concrete in Architecture, Lisbonne, Portugal.
- HORVATH S, - CIMBÉTON (2006). Conception des bâtiments d'activités en béton: Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton (B67), Cimbéton, Paris, France. 111 pp.
- INTEMAC (2005). Fire in the Windsor Building, Madrid. Survey of the fire resistance and residual bearing capacity of the structure after fire, Notas de información

Técnica (NIT), NIT-2 (05), (Spanish and English). Intemac (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), Madrid, Espagne. 35 pp.

ISO/CD 23932. L'ingénierie de la sécurité incendie - Principes généraux. (En cours d'élaboration).

KHOURY G. (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures, Proceedings of Structural. Engineering Materials Journal, Vol. 2, pp. 429-447.

KORDINA K and MEYER-OTTENS C. (1981). Beton-Brandschutz-Handbuck. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, Allemagne.

LENNON T (2004). Fire safety of concrete structures: background to BS 81 10 fire design, Building Research Establishment (BRE), Garston, Watford, Royaume-Uni. 41 pp.

LUNDBERG O. (2006) Brandrapport 2006, Undersökning av bränder i flerbostadshus, Disponible sur la page: <http://www.betong.se/brandrapport2006.pdf> Betongforum, Danderyd, Suède. 12 pp.

MUNICH RE (2003). Risk management for tunnels, Munich Re group, Munich, Allemagne. 55 pp.

NARYANAN, N, and GOODCHILD, C H (2006) Concise Eurocode 2, The Concrete Centre, Camberley, Royaume-Uni. 107 pp.

NECK, U (1998). Comprehensive performance of precast concrete components through integrated utilization of the material and component properties. Proceedings of BIBM 16th International Congress of the Precast Concrete Industry in Venice. Milan, Italian Precast Concrete Association.

NECK U (2002). Comprehensive fire protection with precast concrete elements - the future situation in Europe, Proceedings of BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry. Ankara, Turkish Precast Concrete Association (uniquement sur CD).

NIST. Federal Building and Fire Safety investigation of the World Trade Centre disaster: Final report of the National Construction Safety Team on the collapse of the World Trade Center Tower. NCSTAR 1

SCHNEIDER U and OSWALD M. (2005). Fire safety analysis in concrete and timber frame construction (German/English), Institute for Building Construction and Technology, Vienna University of Technology, Vienne, Autriche. 42 pp.

STOLLARD P and ABRAHAMS J (1995). Fire from first principles: a design guide to building fire. Safety (2nd edition), E&FN Spon, London, Royaume-Uni. 192 pp

SZOKE S S. (2005). Are we protected from fire in buildings? PCI Journal, January - February 2005. PCI, États-Unis.

Usine entreprise (Factory business) no. 3031, November 2004. Bruxelles, Belgique.

WELLINGTON LIFELINES GROUP (2002). Fire following earthquake: identifying key issues for New Zealand. Wellington Lifelines Group, Wellington, Nouvelle-Zélande. 41 pp.

VERSION FRANÇAISE: publiée par Cimbéton

Tous droits réservés. Nulle partie de cette publication ne peut être reproduite, enregistrée dans un système de recherche documentaire ou transmise sous aucune forme que ce soit ou par aucun moyen électronique, mécanique, par photocopiage, enregistrement ou autre, sans l'autorisation écrite préalable de Cimbéton.

Il a été estimé par Cimbéton que toutes les informations contenues dans ce document étaient exactes au moment de leur mise sous presse. Elles sont indiquées en toute bonne foi. Les informations mentionnées dans ce document n'engagent aucunement la responsabilité de Cimbéton. Bien que notre objectif soit de veiller à la précision et à la mise à jour de ces informations, nous ne pouvons garantir ni l'un ni l'autre. Si des erreurs sont portées à notre attention, nous ferons notre possible pour les corriger. Les opinions mentionnées dans ce document sont celles des auteurs et Cimbéton ne saurait être tenu pour responsable de toute opinion exprimée dans ce document.

Tous les conseils ou informations obtenus auprès de Cimbéton sont destinés aux personnes qui évalueront la signification et les limites de son contenu et prendront la responsabilité de son usage et de son application. Il n'est accepté aucune responsabilité (notamment en cas de négligence) de perte résultant de ces conseils ou de ces informations.

Les lecteurs doivent prendre en considération le fait que les publications de Cimbéton sont régulièrement sujettes à révision; ils doivent donc s'assurer qu'ils sont en possession de la version la plus récente.

Crédit photographique

BDB [couverture, 19] – BRE [25] – Building Research Establishment [54] – CERIB [20] – Concrete Centre [22] – *Soldats du feu magazine* [couverture, 23] – S-Lucas [59] – John-Macdonald-Fulton [39] – P. Ruault [58] – SDIS 33, Sapeurs-pompiers de Gironde [46] – SDIS 13, Sapeurs-pompiers des Bouches du Rhône [47] – DR [8, 11,12, 18, 29, 30, 31, 36, 49] – Tous droits réservés.

Mise en page et réalisation

Amprincipe Paris
R.C.S. Paris B 389 103 805

Impression
Gibert Clarey

CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10

E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr