

Le béton et la sécurité incendie



CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



Sommaire

● I - Conception architecturale et sécurité incendie	5
1.1 Introduction à la sécurité incendie	6
1.1.1 - L'enseignement des sinistres	6
1.1.2 - Rappel sur le feu	6
1.1.3 - Le comportement au feu des matériaux et des ouvrages	7
1.2 Prévention et prévision	9
1.2.1 - Les « exigences essentielles » de la directive européenne	9
1.2.2 - Mesures passives de prévention	10
1.2.3 - Mesures actives de prévision	10
1.2.4 - Dispositions réglementaires et administratives	11
1.2.5 - Position des assurances	11
1.3 Conception architecturale et sécurité incendie	11
1.3.1 - Action des concepteurs	12
1.3.2 - Dossier ou notice de sécurité	12
1.3.3 - Classement des établissements	12
1.3.4 - Le béton, matériau idéal pour répondre aux exigences de stabilité au feu	13
1.3.5 - Réponses constructives aux exigences de sécurité incendie	14

● 2 - La sécurité en cas d'incendie, généralités	21
2.1 Directives européennes	23
2.2 Principes de réglementation incendie	23
2.3 Connaissance du feu, développement de l'incendie	24
2.4 Comportement au feu	25
2.5 Résistance au feu	25
2.5.1 - Classement de résistance au feu	26
2.5.2 - Méthodes de classification	26
2.6 Comportement des structures en béton	27
2.7 Les règles constructives	29

● 3 - Murs coupe-feu et écrans thermiques en béton 31

3.1 Comportement au feu des ouvrages 32

3.1.1 - Résistance et réaction au feu 32

3.1.2 - Règles générales 32

3.1.3 - Règles propres aux bâtiments industriels
ou commerciaux et aux entrepôts 32

3.1.4 - Apport du béton à l'efficacité du mur coupe-feu 33

3.2 Règles constructives 34

3.2.1 - Règles générales 34

3.2.2 - Règles complémentaires propres aux assurances 34

3.3 Exemples de solutions techniques 35

3.3.1 - Les murs séparatifs coupe-feu en blocs de béton traditionnel 35

3.3.2 - Les murs séparatifs coupe-feu en blocs de béton cellulaire 37

3.3.3 - Les murs séparatifs coupe-feu constitués de poteaux
béton et panneaux en blocs de béton cellulaire armé 37

3.3.4 - Les murs séparatifs coupe-feu en éléments préfabriqués
en béton 38

3.3.5 - Murs séparatifs coupe-feu en béton coulé en place 39

3.3.6 - Murs séparatifs coupe-feu constitués de panneaux
verticaux en dalles alvéolées en béton précontraint 39

● 4 - Résistance au feu des bétons

4.1 - Comportement aux températures élevées 41

4.2 - Conductivité thermique 42

4.3 - Évolution des résistances du béton et de l'acier en fonction de la température 43

Chapitre

1

Conception architecturale et sécurité incendie

1.1 Introduction à la sécurité incendie

1.2 Prévention et prévision

**1.3 Conception architecturale
et sécurité incendie**

1.1 Introduction à la sécurité incendie

La réglementation de sécurité et de protection contre les risques d'incendie et de panique est, en France, en relation avec l'activité et la taille des bâtiments ou des ouvrages concernés. La sécurité incendie et les textes réglementaires d'application résultent d'évolutions permanentes, qui sont souvent le fruit de l'expérience des catastrophes.

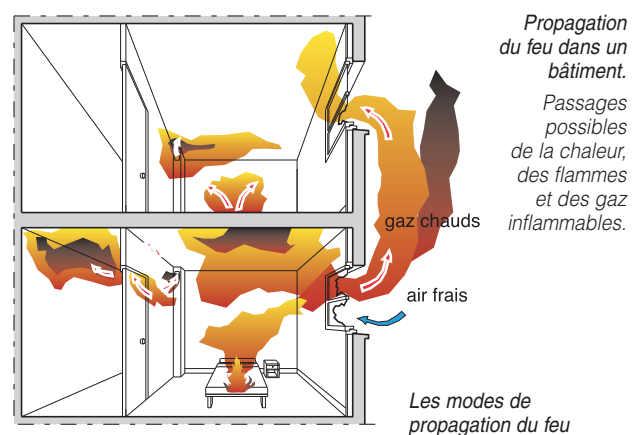
1.1.1 - L'enseignement des sinistres

De toutes les catastrophes et accidents auxquels l'homme moderne est confronté, l'incendie reste l'un des fléaux les plus redoutés. Aujourd'hui, les incendies ne représentent qu'une faible part des interventions des services de secours et de lutte (sapeurs-pompiers), soit un peu moins de 10 %. Si les bâtiments d'habitation restent les plus exposés à ce sinistre, tous les domaines de la construction sont touchés : établissements recevant du public (ERP), établissements industriels et entrepôts de stockage. Pour lutter efficacement contre le feu, le législateur a imposé des réglementations qui se transforment en fonction des enseignements tirés des sinistres. Les autorités administratives ont fait évoluer le règlement de sécurité contre l'incendie dans les ERP et les immeubles d'habitation. Le concept de sécurité dans les immeubles de grande hauteur (IGH) en a découlé. Le Code du Travail et la réglementation relative aux établissements industriels s'appliquent aux bâtiments industriels et commerciaux.



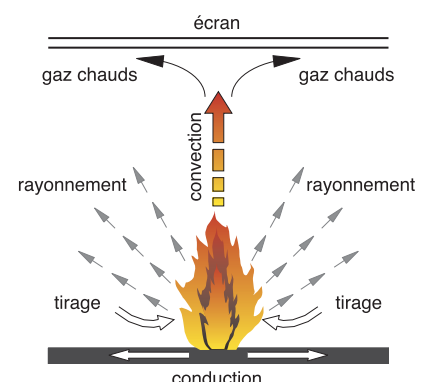
1.1.2 - Rappel sur le feu

Schématiquement, il est nécessaire que trois éléments (combustible, comburant et source de chaleur) soient réunis pour provoquer l'éclosion d'un feu. Dans les cas les plus favorables, après une courte période d'instabilité, le feu s'éteint par manque de combustible ou simplement d'air (comburant). En général, l'inflammation est suivie de la combustion complète des matières ou des produits contenus dans la pièce ou le local. Après cela, le feu peut se propager aux autres locaux ou aux bâtiments voisins. Il se développe par radiation, convection ou effet cheminée. L'analyse des statistiques de départ de feu fait apparaître que les causes d'incendie peuvent être naturelles, relatives à l'usage de l'énergie ou accidentelles. Les défaillances humaines sont à l'origine de nombreux incendies (30 % des cas environ à Paris).



Feu dans un collège d'enseignement secondaire (construction légère à ossature en acier), Colombes, 1992.

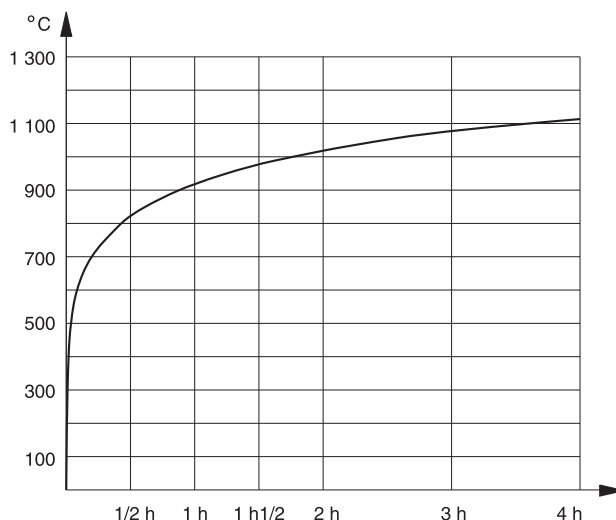
En cas d'incendie, il est primordial que la structure reste stable pour permettre l'évacuation des personnes.



1.1.3 - Le comportement au feu des matériaux et des ouvrages

La connaissance du potentiel calorifique et du comportement au feu des matériaux et des éléments de construction permet d'élaborer une protection contre le feu. En France, le comportement au feu est ainsi apprécié selon :

- la résistance au feu, c'est-à-dire le temps pendant lequel un élément de construction peut jouer le rôle qui lui est dévolu malgré l'action de l'incendie ;
- la réaction au feu, c'est-à-dire la capacité du matériau à apporter un aliment permettant au feu de se développer et donc de présenter un certain degré d'inflammabilité.



La courbe normalisée ISO-834 détermine les températures atteintes dans un four de laboratoire en vue de tester la résistance au feu des éléments de construction.

Critères de résistance au feu d'un élément de construction ou d'un ouvrage			Classement de la résistance au feu d'un élément de construction ou d'un ouvrage	Degré de résistance au feu d'un élément de construction ou d'un ouvrage
<p>La qualité d'un élément de construction mis en œuvre dans un bâtiment afin qu'il puisse continuer, en cas d'incendie, à assurer son rôle (stabilité et/ou compartimentage) est déterminée par des essais de résistance au feu liés à la norme ISO définissant l'incendie conventionnel (ISO-834). Les trois critères utilisés (selon l'arrêté du 3 août 1999 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et ouvrages) sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la résistance mécanique sous charge ; - l'étanchéité aux gaz chauds et aux flammes ainsi que l'absence d'émission de gaz inflammables sur la face non exposée au feu ; - l'isolation thermique. 			<ul style="list-style-type: none"> • Stable au feu (SF) : le critère de résistance mécanique est seul requis. • Pare-flammes (PF) : sont requis les critères de résistance mécanique et d'étanchéité aux flammes, aux gaz chauds ou inflammables. • Coupe-feu (CF) : en plus des critères précédents, l'ouvrage présente des caractéristiques d'isolation thermique. La température moyenne de la face non exposée reste inférieure à 140 °C avec une température maximale ne dépassant pas, localement, 180 °C. 	<p>Le degré de résistance au feu s'exprime en temps requis déterminé après essai ; les valeurs conventionnelles sont : 1/4 h, 1/2 h, 3/4 h, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h et 6 h.</p>
Résistance mécanique sous charge	Étanchéité aux gaz chauds et aux flammes et absence d'émission de gaz inflammables sur la face non exposée au feu	Isolation thermique		
⊖	→		Stable au feu (SF) (poteaux, poutres, etc.)	de 1/4 h à 6 h
+	→	⊖	Pare-flammes (PF) (blocs-portes, murs, cloisons, etc.)	de 1/4 h à 6 h
+	→	+	Coupe-feu (CF) (murs, cloisons, portes, planchers, etc.)	de 1/4 h à 6 h

Exemples :

- un poteau peut être SF 1/4 h jusqu'à SF 6 h ;
- un poteau en béton de 45 x 45 cm exposé sur les quatre faces est SF 4 h ;
- une cloison ou une porte peuvent être PF 1/4 h jusqu'à PF 6 h ;
- un mur porteur en béton armé de 15 cm d'épaisseur est CF 2 h.

Caractéristiques de résistance au feu d'un élément de construction ou d'un ouvrage

Les caractéristiques de résistance au feu d'un élément de construction ou d'un ouvrage sont constituées :

- 1° du classement de la résistance au feu (SF, PF ou CF) ;
- 2° du degré de résistance au feu (exprimé en temps requis).

Ces deux données permettent de choisir un élément de construction en vue de la protection des personnes et de la conservation des biens.

La résistance au feu

Les critères de résistance au feu définissent le classement de résistance au feu qui, associé au degré de résistance au feu, constitue les caractéristiques de résistance au feu d'un élément de construction ou d'un ouvrage.

Dans les prochaines normes européennes, la définition des caractéristiques de résistance au feu sera pratiquement identique à celle décrite précédemment mais leur désignation sera différente.

Classement de résistance au feu

- stabilité au feu : (capacité portante)
SF deviendra R;
- pare-flammes : (étanchéité au feu)
PF deviendra E;
- coupe-feu : (isolation thermique)
CF deviendra REI.

Degré de résistance au feu

Il sera exprimé en minutes et non plus en heures ou en fraction d'heure (1/4 h deviendra 15, 1 h deviendra 60, etc.).

Exemples :

- un poteau SF 1 h deviendra R 60;
- une porte PF 1/2 h deviendra E 30;
- un mur porteur CF 2 h deviendra REI 120.

La réaction au feu

Ce critère concerne les matériaux de construction finis et les revêtements appliqués sur leurs supports (panneaux, plaques, films, feuilles, tubes, etc.). Des laboratoires agréés, spécialement équipés, procèdent à des essais normalisés et produisent, à l'issue de ces essais, des procès-verbaux valables pendant cinq ans. Les matériaux sont classés en deux groupes : combustibles et incombustibles. Ils sont égale-

Réaction au feu de certains matériaux				
Caractère	Classement	Critères d'appréciation	Principaux matériaux	
Incombustible	M0	Pouvoir calorifique inférieur à 600 kcal/kg	Béton, plâtre, verre, terre cuite, amiante, métaux, laine minérale	
Combustible	Ininflammable	M1	Pas de production de chaleur notable	Mousse phénolique, matériaux ignifugés (bois, PVC rigide, sillones)
	Difficilement inflammable	M2	Production de chaleur croissante	PVC rigide, méthacrylate, certains bois
	Moyennement inflammable	M3		Bois résineux, contre-plaqué non traité, feutre, laine, matériaux de synthèse, méthacrylate, certains PVC et polystyrènes
	Facilement inflammable	M4	+ chute de gouttes	Polyuréthane, acétate de cellulose, polystyrène, polyéthylène, carton
Non classés	NC	–	Autres matériaux	

LES PREMIERS ESSAIS DE RÉSISTANCE AU FEU

Dès le début du siècle, François Hennebique montre la capacité du béton à résister à l'incendie par des essais en grandeur réelle.

Depuis son origine, le béton a été utilisé pour lutter contre le feu. Précurseurs des grandes entreprises de BTP, la société Hennebique (1890-1930) et son fondateur ont le grand mérite d'intégrer le béton dans un processus moderne de construction, en utilisant notamment ses performances à résister au fléau que représente déjà l'incendie à cette époque. Dès 1879, François Hennebique est à l'initiative d'une maison ignifuge en Belgique. En 1893, dans un souci de normalisation, il évoque déjà la grande résistance au feu des constructions en béton armé. En 1920, poursuivant ses recherches sur les effets destructeurs du feu, François Hennebique souhaite promouvoir l'emploi du béton armé

car il pense que ce matériau évitera les incendies désastreux.

Il s'emploie à démontrer aux services officiels, par un essai en grandeur réelle réalisé les 14 et 20 août 1920, à l'occasion d'un congrès international de sapeurs-pompiers à Paris, que les planchers en béton résistent parfaitement au feu. La construction en béton armé est « inaltérable et résiste à l'épreuve du feu ». Cet essai sur la résistance du béton armé au feu constitue l'une des toutes premières expériences scientifiques en la matière et préfigure les fours d'essais actuels.

Depuis, les grands laboratoires agréés comme le CSTB, le CTICM, le GERBAM procèdent à des essais pour chacun des éléments de construction, notamment en application de courbes normalisées de montée en température.



Essais de résistance au feu d'un plancher en béton sur four horizontal, par le laboratoire du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

ment rangés en cinq classes de sévérité décroissante, de M0 à M4 et non classés (arrêté du ministère de l'Intérieur du 30 juin 1983).

L'évaluation de la réaction au feu se fait pour divers niveaux de sollicitation thermique qui correspondent à différents stades de la combustion. Par exemple, certains matériaux sont, par essence, ininflammables (béton, pierre, métal, etc.) et d'autres présentent un degré d'inflammabilité plus ou moins important.

Dans un but d'harmonisation, la Commission européenne a opté pour un système de classement différent. Six euroclasses allant de A à F, des matériaux les moins combustibles au plus combustibles, remplaceront le classement français de M0 à M4.

1.2 Prévention et prévision

Les effets de l'incendie peuvent être dévastateurs, tant pour les personnes que pour les biens. Les dommages affectant l'homme résultent de la fumée et des gaz, des flammes et de la chaleur. Les flammes ont une température qui varie de 600 à 1 200 °C et provoquent des brûlures immédiates.

Les conséquences, pour le bâtiment et les biens qu'il contient, représentent, sur le plan financier, un lourd tribut payé à l'incendie. Afin de prévenir ce sinistre, diverses mesures s'imposent.

La doctrine française de sécurité inclut :

- **la prévention**, dont l'objectif est d'assurer la sécurité des personnes, de limiter ou d'éviter les pertes des biens et, enfin, d'assurer l'engagement des secours et leur protection. Elle se concrétise par des mesures dites « passives », liées à la conception des bâtiments, qui concourent à restreindre la propagation de l'incendie : compartimentage, cloisonnement, stabilité, choix des matériaux, etc. ;
- **la prévision**, qui vise à assurer, dès l'origine, la découverte d'un feu et la mise en œuvre immédiate des moyens d'extinction. Elle se matérialise par des mesures dites « actives » relatives aux systèmes de sécurité : sprinklers, alarmes, détecteurs, services de sécurité et de gardiennage, etc. ;
- **l'intervention** des secours, qui n'est déclenchée qu'en cas d'échec des mesures précédentes.

1.2.1 - Les « exigences essentielles » de la directive européenne

Concernant les exigences essentielles relatives à la sécurité incendie des produits de construction, la directive européenne du 21 décembre 1988 fait apparaître cinq objectifs fondamentaux en cas d'incendie :

- assurer la stabilité des éléments porteurs de l'ouvrage pendant un temps déterminé ;
- limiter l'apparition et la propagation du feu et de la fumée dans l'ouvrage ;
- faciliter l'intervention des équipes de secours (sapeurs-pompiers) ;
- favoriser la bonne évacuation des occupants ;
- limiter l'extension du feu aux ouvrages voisins.

Pour répondre à ces exigences essentielles, on peut, lors de la conception d'un projet, appliquer une idée simple mais efficace : il faut interposer des écrans (horizontaux ou verticaux) entre le feu et les personnes à évacuer ou les biens à protéger. Ces écrans sont destinés à créer un isolement ou des compartiments qui devront arrêter plus ou moins longtemps l'incendie. Leur mise en place sous-entend la présence de structures, également résistantes au feu, pour les supporter. Le béton, matériau incombustible, se révèle particulièrement adapté à leur réalisation. Dans la conception matérielle d'un ouvrage, ces notions se traduiront simultanément par le choix :

- de structures suffisamment résistantes et donc stables au feu ;

- de planchers, de murs, de gaines verticales coupe-feu ;
- de dispositifs de passage ou d'isolement (portes, parois coulissantes) pare-flammes ;
- de toitures limitant la propagation du feu.

1.2.2 - Mesures passives de prévention

Pour la sauvegarde des personnes, les dégagements seront privilégiés afin de faciliter une bonne évacuation. Ils doivent avoir une largeur suffisante, être assez nombreux, bien répartis et toujours libres d'obstacles. La hauteur des bâtiments intervient également dans le choix du nombre de sorties ; des dispositions réglementaires doivent être prises pour les bâtiments élevés. La panique étant toujours possible, il convient de s'en prémunir tant du point de vue constructif que par la mise en œuvre de dispositifs d'éclairage et de désenfumage adaptés.

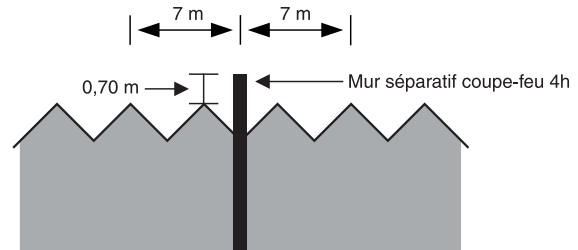
Pour la sauvegarde des biens, le concepteur doit prendre en compte les éléments suivants :

- l'implantation de la construction ;
- le choix des matériaux ;
- l'isolement de la construction par rapport aux tiers ;
- le compartimentage des locaux ;
- la disposition des locaux en fonction des risques ;
- le comportement au feu des matériaux (choix des aménagements intérieurs).

1.2.3 - Mesures actives de prévision

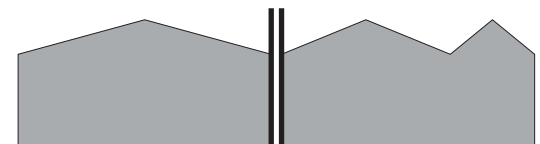
Quelle que soit la perfection des mesures de prévention édictées, aussi vigilants que soient ceux qui sont chargés de les faire appliquer, certaines causes imprévisibles et les aléas de la vie quotidienne font qu'il y aura toujours des incendies. La prévision comporte toutes les mesures préparatoires destinées à la découverte de l'incendie dès sa naissance et à l'attaque immédiate du feu pour obtenir son extinction rapide, le facteur temps étant primordial dans leur mise en œuvre. La prévision prend donc le relais de la prévention lorsque celle-ci est mise en échec : son action est complémentaire de la sécurité incendie tout en la renforçant.

EXEMPLE DE MOYEN DE PRÉVENTION :
LES MURS SÉPARATIFS COUPE-FEU DANS LES BÂTIMENTS INDUSTRIELS



Les murs séparatifs coupe-feu en béton (constitués de blocs, de panneaux ou les murs coulés en place) sont le meilleur moyen d'assurer un cloisonnement efficace pour lutter contre l'incendie. Ils doivent avoir un degré coupe-feu de quatre heures selon la règle R 15 de l'APSA. Construit selon les normes P 18-702 (règles BAEL 91), P 18-703 (règles BPEL 91) et la norme P 92-701 « Règles de calcul. Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton (changement de statut du DTU, règle de calcul FB 1987) », le mur doit dépasser de 70 cm le point le plus haut de la couverture.

Constitué de poteaux en béton stables au feu quatre heures et d'un remplissage en panneaux en béton, ce mur respecte les règles R 15 de l'APSA en présentant une résistance au feu coupe-feu de quatre heures.



mur séparatif coupe-feu
constitué de deux parois indépendantes



Les murs séparatifs coupe-feu peuvent être constitués de deux parois. Chacune devra avoir un degré coupe-feu de trois heures. Des précautions devront être prises pour éviter les effondrements en protégeant les poteaux métalliques.

Dans l'exemple ci-contre, les poteaux métalliques non protégés n'ont pas résisté au feu et ont entraîné la ruine du premier mur.

1.2.4 - Dispositions réglementaires et administratives

Le règlement de sécurité fixe les mesures permettant l'instruction des projets et leur contrôle après exécution. Différentes administrations concourent ainsi à l'obtention du permis de construire.

- Pour les établissements recevant du public (ERP), il s'agit d'une commission départementale de sécurité ayant pour mission :
 - d'examiner les projets (construction, extension, aménagements);
 - de procéder aux visites de réception avant ouverture au public;
 - d'effectuer des contrôles périodiques ou inopinés.
- Pour les bâtiments d'habitation, les dossiers sont à transmettre aux directions départementales de l'équipement.
- Pour les bâtiments industriels ou les installations classées, les projets relèvent, soit de l'Inspection du Travail, soit des DRIRE.

Le rôle des commissions est de donner un avis à l'autorité administrative (maire et préfet) investie du pouvoir de police et seule chargée de délivrer les autorisations de construire.

La commission examinera en particulier :

- la notice de sécurité;
- les rapports de contrôle technique;
- la solidité des ouvrages (à froid);
- la conformité aux règles de sécurité « Mission S ».

Dans l'agglomération parisienne, les dossiers (ERP, IGH, ICPE) sont instruits par la préfecture de Police à la Direction de la protection du public, 12, quai de Gesvres à Paris 4^e, qui consulte les différents acteurs (architectes spécialisés dans la sécurité, sapeurs-pompiers, laboratoire central de la Préfecture, etc.).

1.2.5 - Position des assurances

Dans son évaluation des risques, l'assureur considère toujours les points suivants : la mise en place de mesures de prévention et la réduction du risque et des dommages potentiels. Il prend en compte tous ces aspects dans le contrat des primes qu'il établit. Cette approche ne peut qu'inciter à choisir les meilleures mesures de prévention. Par exemple, les bâtiments industriels avec des structures en

béton et des murs en maçonnerie ou des éléments préfabriqués conformes à la règle R 15 de l'APSAD (Assemblée plénière des sociétés d'assurances dommages) répondent parfaitement aux préoccupations des assureurs.

Pour ces derniers, le béton, matériau incombustible, présente intrinsèquement les meilleures qualités de résistance au feu. Les poteaux, poutres, murs extérieurs et murs coupe-feu en béton remplissent (même avec les épaisseurs les plus faibles et sans aucune protection rapportée ni entretien ultérieur) les conditions permettant de bénéficier de la meilleure réduction de primes d'assurance. Par ailleurs, point tellement important de nos jours, une structure complète utilisant des murs périphériques en béton offre la possibilité de se prémunir efficacement, et sans surcoût, contre les vols, les actes de malveillance et tous les risques d'effraction.

En matière de sécurité, le béton apporte, dans bien des cas, la meilleure réponse. Quoi qu'il en soit, il est nécessaire que le maître d'ouvrage et le concepteur consultent l'assureur, dès l'avant-projet.

1.3 Conception architecturale et sécurité incendie

L'architecte, dans le cadre de sa mission de conception, joue un rôle important : il doit prendre en compte, dans son projet, différents paramètres parfois antinomiques. Parmi eux, la prévention contre l'incendie est l'un des plus importants. Convenablement intégrée dès les premiers stades de la conception, la sécurité, ou plutôt le concept de sécurité générale et de prévention, permettra d'économiser, sinon d'optimiser, les coûts, et du moins évitera, lors d'un dépôt de permis de construire, de dénaturer un projet non conforme par manque de concertation préalable. Il est primordial que le concepteur s'informe de la nature de l'ouvrage, de son activité et des risques qui en découlent ainsi que des objectifs de sécurité fixés. Dans

le cadre de sa mission, il faut qu'il connaisse, voire maîtrise, les concepts de prévention et de sécurité et leur mise en application.

1.3.1 - Action des concepteurs

Les règles de sécurité contre l'incendie doivent être intégrées et prises en compte au moment de la conception de tout bâtiment; elles sont obligatoires, tant pour les constructions neuves que pour le réaménagement de bâtiments existants.

Détaillées dans chacune des réglementations spécifiques, elles doivent être mises en œuvre dans leur intégralité sous peine de se voir opposer un refus de l'administration concernée, tant pour la réalisation du projet que pour l'exploitation de l'établissement. Cependant, des adaptations peuvent faire l'objet d'un accord de l'administration, notamment dans le but de concilier sécurité et conception architecturale (sous réserve que le maître d'œuvre propose des compensations conférant un niveau de sécurité équivalent).

1.3.2 - Dossier ou notice de sécurité

Il est de la responsabilité de l'architecte d'établir les documents et les plans constituant le dossier de sécurité qui doit être annexé à toute demande de permis de construire.

Dans ce document, sont en particulier exigées des notes relatives :

- au désenfumage ;
- aux installations de chauffage, de gaz combustibles, d'électricité et de restauration ;
- aux différents types d'éclairage ;
- aux moyens de secours contre l'incendie.

Les précisions utiles seront trouvées dans les brochures 20028 et 1685 (articles DF4, CH4, GZ3, EL1, EC3, GC2 et MS3) de la Direction des Journaux officiels, 26, rue Desaix à Paris 15^e. La notice de sécurité doit également comporter un descriptif de l'ouvrage pour faciliter l'instruction du dossier par la commission de sécurité. Elle doit permettre de

comprendre aisément la façon dont l'établissement est conçu pour assurer, en cas de sinistre, l'évacuation du public, la limitation de la propagation du feu, l'accès et l'intervention des secours. Des cabinets spécialisés ou des spécialistes en sécurité incendie sont à même d'aider les architectes.

1.3.3 - Classement des établissements

Les constructions et les bâtiments (ERP, bâtiments d'habitation, IGH, parkings, bâtiments industriels et commerciaux) se voient appliquer des dispositions de base selon leur mode d'exploitation, leur hauteur, les occupants ou le public reçu. Un classement a été nécessaire pour définir les mesures de sécurité. Le classement de l'établissement, déterminé en fonction des effectifs qu'il doit accueillir et de sa hauteur, conditionne la conception future et l'emploi des matériaux. Il convient de retenir que le critère d'évacuation, établi en ayant connaissance des lieux, est fondamental. Il n'est pas de notre propos de détailler ici chaque mesure applicable au type, à la famille et à la catégorie d'établissement; aussi, les documents de référence sont-ils indiqués, dans les lignes qui suivent, pour permettre une recherche plus aisée aux lecteurs.

Les établissements recevant du public (ERP) (arrêté du 25 juin 1980)

Documents de référence : brochures 1685, 1686 et 1687.

Le règlement souligne deux notions fondamentales pour l'application des prescriptions: le type d'activité exercé et la catégorie de l'établissement en fonction de l'effectif à évacuer.

Les bâtiments d'habitation (arrêté du 31 janvier 1986, modifié)

Document de référence : brochure 1603.

Le règlement détermine quatre familles de bâtiments selon la hauteur; il est fondé sur le principe que les occupants connaissent les lieux, mais que leur évacuation n'est pas a priori organisée. Celle-ci peut être rapide dans les bâtiments bas. En revanche, pour les bâtiments plus hauts, il est nécessaire de prévoir des moyens de protection.

Les immeubles de grande hauteur (IGH) (arrêté du 18 octobre 1977)

Document de référence : brochure 1536.

Sont définis comme IGH les bâtiments dont le plancher bas du dernier niveau est situé, par rapport au niveau du sol :

- à plus de 50 m pour les immeubles à usage d'habitation ;
- à plus de 28 m pour tous les autres immeubles.

Classement des établissements recevant du public (ERP)				
Classement par catégorie et par groupe selon les effectifs				
1 ^{re} catégorie :	au-dessus de 1 500 personnes	1 ^{er} groupe		
2 ^e catégorie :	de 701 à 1 500 personnes			
3 ^e catégorie :	de 301 à 700 personnes			
4 ^e catégorie :	du seuil de classement à 300 personnes			
5 ^e catégorie :	en dessous du seuil de classement	2 ^e groupe		
Classement par type selon l'activité		Seuils des effectifs du 1 ^{er} groupe*		
Type	Nature de l'exploitation	Sous-sol	Étages	Ensemble des niveaux
L	Salles d'audition, de conférences, de réunions	100	–	200
	Salles de spectacles et de projection à usages multiples	20	–	50
M	Magasins de vente	100	100	200
N	Magasins divers et débits de boissons	100	200	100
O	Hôtels et pensions de famille	–	–	100
P	Salles de danse ou de jeux	20	100	120
R	Crèches, maternelles, jardins d'enfants, haltes-garderies	Interdit	1	100
	Autres établissements d'enseignement	100	100	200
	Internats	–	–	20
	Colonies de vacances	–	–	30
S	Bibliothèques et centres de documentation	100	100	200
T	Salles d'exposition	100	100	200
U	Établissements de soins : – sans hébergement	–	–	100
	– avec hébergement	–	–	20
V	Établissements de culte	100	200	300
W	Administrations, banques, bureaux	100	100	200
X	Établissements sportifs couverts	100	100	200
Y	Musées	100	100	200
OA	Hôtels-restaurants d'altitude	–	–	20
GA	Gares	–	–	200
PA	Établissements de plein air	–	–	300
REF	Refuges de montagne : – non gardés	–	20	30
	– gardés	–	–	40
CTS	Chapiteaux, tentes et structures	–	–	50

* En nombre de personnes.

Exemple : un musée pouvant accueillir 800 visiteurs sera classé en ERP du 1^{er} groupe, 2^e catégorie de type Y.

Une évacuation totale et rapide n'est guère possible et la hauteur des bâtiments augmente les difficultés d'intervention des sapeurs-pompiers. Il en résulte qu'un compartimentage renforcé avec des planchers coupe-feu de degré deux heures est nécessaire. Ceci peut, par exemple, être obtenu avec des planchers en dalle pleine de béton de 11 cm d'épaisseur au minimum.

Bâtiments industriels ou tertiaires

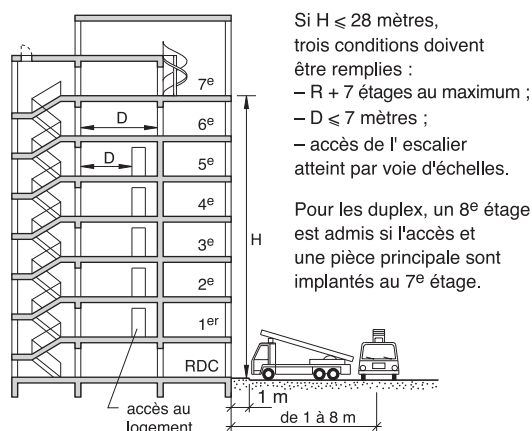
Ils relèvent, selon le cas :

- de la loi du 19 juillet 1976, modifiée, relative aux installations classées pour la protection de l'environnement – application de la directive Severo*, brochure 1001 ;
- du Code du Travail (livre II, chapitres II et V). Les conditions d'application de la loi inscrivent dans une nomenclature les différentes activités susceptibles d'être classées, et en fixent les seuils à partir desquels elles sont soumises, soit à une autorisation préfectorale, soit à une simple déclaration.

1.3.4 - Le béton, matériau idéal pour répondre aux exigences de stabilité au feu

Le caractère incombustible du béton, matériau classé M0, est une évidence, mais il faut aussi souligner sa faible vitesse d'échauffement. Soumis à une température correspondant à celle d'un incendie,

Exemple d'un bâtiment de logements de la 3^e famille



La 3^e famille concerne les habitations dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à moins de 28 m au-dessus du sol accessible aux engins des services de secours et de lutte contre l'incendie. Leur stabilité au feu est d'une heure et les planchers sont coupe-feu une heure.

* Directive prise à la suite de la très importante pollution chimique (à la dioxine) dans la ville de Severo, en Italie, en 1976.

Exigences de résistance au feu en fonction du type de bâtiment et de sa hauteur						
	0	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 et 4 h
Rez-de-chaussée seulement	ERP Bureaux Industries	ERP				Isolement entre ERP et parc de stationnement
$H \leq 8$ m	Bureaux Industries	ERP 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e catégorie Habitation (2 ^e famille)	ERP 1 ^{re} catégorie			
$8 < H \leq 28$ m			ERP 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e catégorie Habitation (3 ^e famille) Bureaux Industries	ERP 1 ^{re} catégorie		
$28 < H \leq 50$ m				Habitation (4 ^e famille)	IGH (W, O, R, U, Z)*	Isolement IGH/ERP et IGH/parc de stationnement
$H > 50$ m					IGH (A)*	Isolement ERP/parc de stationnement

* Rappel des catégories d'IGH:

O Hôtels et pensions de famille

R Crèches, maternelles, jardins d'enfants, haltes-garderies
Autres établissements d'enseignement
Internats
Colonies de vacances

U Établissements de soins:
– sans hébergement
– avec hébergement

Z Immeubles mixtes

A Immeubles d'habitation

■ Béton sans protection particulière

□ Béton avec protection

Le béton satisfait aux exigences de la réglementation pour la grande majorité des constructions, sans protection rapportée particulière.

le béton n'atteint au bout d'une heure que 350 °C à 3 cm de profondeur et 100 °C à 7,5 cm. Ces températures sont très en deçà de celles pour lesquelles les caractéristiques du matériau sont affectées de façon sensible (environ 600 °C). Cela montre l'efficacité de la protection assurée par une paroi en béton, tant du point de vue de sa stabilité que de la propagation du feu.

Le béton armé, moyennant un enrobage suffisant des armatures, constitue une solution économique et fiable pour la réalisation de structures résistant au feu et de parois jouant un rôle coupe-feu.

Plus un bâtiment est élevé, plus le temps d'évacuation est long. Il faut donc éviter tout risque d'effondrement par une bonne résistance au feu et cela pendant un temps suffisamment long pour garantir une évacuation dans de bonnes conditions. La réglementation suit cette doctrine. Les variations de résistance au feu exigées en fonction de la hauteur pour les différentes catégories de construction peuvent être synthétisées dans le tableau ci-après. Son examen met en évidence que la grande majorité des constructions, quelle que soit leur catégorie, se situe entre 8 m et 28 m de hauteur, ce qui correspond à une exigence de stabilité au feu d'une heure. Le béton y répond sans aucune diffi-

culté, comme le montrent les tableaux des pages suivantes, et ce, dans de très bonnes conditions économiques. D'une façon générale, le béton ne nécessite aucune protection rapportée particulière, jusqu'à deux heures de stabilité au feu et de degré coupe-feu. Ce matériau obéit donc à la réglementation et couvre les exigences de la législation pour la grande majorité des bâtiments.

1.3.5 - Réponses constructives aux exigences de sécurité incendie

Quels que soient l'activité, la hauteur et les effectifs du bâtiment, des réponses préventives existent. Ainsi, il convient :

- **d'assurer une évacuation rapide des personnes vers l'extérieur.** À cet effet, on mettra à leur disposition :
 - des couloirs isolés des locaux voisins par des parois et des planchers résistant au feu et désenfumés ;
 - des escaliers isolés des volumes contigus par des parois coupe-feu et désenfumés dans tous les cas ;
 - des issues sur l'extérieur.

Dans tous les cas, ces dégagements devront être bien répartis tant en nombre qu'en largeur et ce, en fonction de l'effectif à évacuer.

- **de disposer de structures et de planchers résistant au feu ou s'opposant à son passage.**

Cette résistance au feu sera proportionnelle dans le temps :

- à la hauteur du bâtiment ;
- à l'effectif des personnes l'occupant simultanément ;
- à l'activité du bâtiment.

Cette nécessité sous-entend que les trémies verticales non recoupées (gaines techniques, d'ascenseurs, de vide-ordures, etc.) ne constituent pas un affaiblissement des degrés de sécurité des structures et des planchers.

- **de disposer d'écrans d'isolement** (intérieur ou extérieur). Cette obligation a pour but :

- d'éviter une propagation interne de l'incendie à l'ensemble du bâtiment, avant qu'il ait été complètement évacué ;
- de permettre aux secours d'intervenir dans les meilleures conditions ;
- d'isoler le bâtiment concerné vis-à-vis des tiers, qu'il s'agisse d'un incendie prenant naissance dans son sein, ou d'un sinistre ayant pris son origine chez les tiers eux-mêmes.

Gros œuvre et structures

Les éléments porteurs doivent être stables au feu pour éviter l'effondrement du bâtiment mais aussi, dans certains cas, être coupe-feu, en particulier pour les murs et les planchers, afin d'empêcher toute extension du sinistre. En fonction du type, de la catégorie, de la hauteur du bâtiment et de la présence de locaux réservés au sommeil, les différents degrés (tant de stabilité au feu des structures que coupe-feu des planchers, parois, trémies ou gaines) sont variables.

Principales exigences

En fonction du classement, la stabilité au feu est déterminée par les réglementations. Le compartimentage devra limiter l'extension d'un sinistre et contribuer à la bonne évacuation des occupants. Les aménagements intérieurs et leur réaction au feu devront être pris en compte, en particulier pour déterminer le potentiel calorifique (voir le règlement IGH) dans lequel les murs en béton sont obli-



gatoirement coupe-feu de degré deux heures. Les dispositions des articles CO 11 à 15 du règlement de sécurité incendie devront être respectées, notamment en ce qui concerne l'effondrement de la toiture et la ruine en chaîne de la structure. Les façades et les couvertures devront être conformes aux règles et éviter toute propagation.

Les réponses du béton

Le dimensionnement des structures, du point de vue de leur résistance au feu, est généralement délicat à déterminer par le calcul. Dans la plupart des cas, on peut éviter cette démarche en se référant aux résultats des essais effectués sur des éléments de structure types, qui permettent d'apprécier leur degré de résistance au feu. Concernant les ouvrages particuliers, le calcul peut être nécessaire.

Pour l'ensemble des ouvrages en béton armé, certaines règles constructives générales facilitent la conception de structures aptes à satisfaire les critères d'exigences de résistance au feu et elles leur confèrent des degrés coupe-feu et stable au feu largement supérieurs aux exigences requises pour la plupart des bâtiments.

Règles simples concernant les poteaux

L'évolution des températures à l'intérieur d'un élément en béton, en fonction du temps, de l'exposition au feu et de sa section, conduit à préconiser des sections de poteaux croissant avec la durée de résistance au feu envisagée. On constate qu'avec des sections usuelles 20 x 20 cm, les poteaux exposés au feu sur une face sont stables au feu pendant trois heures (voir le tableau page 16). Cela est largement supérieur aux exigences des bâti-

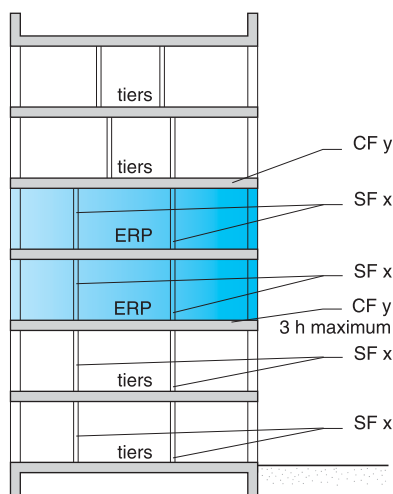
Feu au studio de cinéma AB Satellite, Saint-Denis, 1997.

La structure métallique s'est effondrée à l'intérieur du bâtiment. Les sapeurs-pompiers procèdent à une attaque du feu de l'extérieur. Les dégâts sont majeurs (ci-contre).



CAS PARTICULIER : CARACTÉRISTIQUES DE RÉSISTANCE AU FEU DE LA STRUCTURE PORTEUSE D'UN ERP INSTALLÉ DANS UNE PARTIE DE BÂTIMENT.

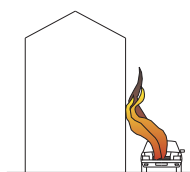
x, y : durées de résistance au feu définies par l'article CO11 du règlement de sécurité incendie. En effet, un ERP ne peut être installé dans une partie de bâtiment que si les éléments principaux de la structure portante de cet ERP ont un degré de stabilité au feu au moins égal au degré coupe-feu du plancher bas d'isolement.



Différents risques d'incendie sur les façades



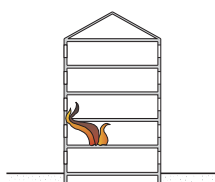
transmission par rayonnement d'un bâtiment à l'autre



transmission par l'extérieur



transmission d'un étage à l'autre par la façade à laquelle répond la règle du C + D



transmission interne possible avec des façades légères (mur-rideau)

ments d'habitation – de toutes familles – et de la plupart des autres bâtiments (voir le tableau de la page 14).

Dimensions minimales d'un poteau à section carrée (en cm) selon le degré de résistance au feu exigé

Degré de résistance au feu	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 h	4 h
Poteau exposé au feu sur les quatre faces	15	20	24	30	36	45
Poteau exposé au feu sur une face	10	12	14	16	20	26

Règles simples concernant les murs porteurs

Les valeurs d'épaisseur et d'enrobage d'acier d'un mur en béton armé, en fonction de la résistance au feu escomptée, sont fournies par le tableau suivant.

On notera que les parois en maçonnerie de blocs béton creux présentent un degré stable au feu et pare-flamme de six heures et un degré coupe-feu de trois heures pour une épaisseur de 15 cm.

Caractéristiques (en cm) d'un mur en béton armé selon le degré de résistance au feu exigé

Degré de résistance au feu	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 h	4 h
Épaisseur du mur	10	11	13	15	20	25
Enrobage des aciers	1	2	3	4	6	7

Règles simples concernant les dalles pleines pour plancher

Pour les dalles de plancher – dont les armatures au niveau des appuis sont prévues pour équilibrer les moments de flexion – l'épaisseur cumulée de la dalle et de la chape doit respecter les valeurs suivantes.

Épaisseur d'une dalle en béton armé (en cm) selon le degré de résistance au feu exigé

Degré de résistance au feu	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 h	4 h
Épaisseur minimale	6	7	9	11	15	17,5

Protection des façades

À l'extérieur d'un bâtiment, les risques liés à l'incendie sont attachés, soit à la propagation en façade d'un feu d'origine intérieure (C + D), soit à l'inflammation de la façade par un feu d'origine extérieure.

La résistance à la propagation verticale du feu par des façades comportant des baies est assurée en appliquant la règle du C + D, qui concerne le ralentissement de la propagation du feu d'un étage à l'autre (arrêté du 10 septembre 1970).

Les valeurs C + D doivent être liées par une des relations ci-dessous, en fonction de la masse combustible mobilisable :

$$C + D \geq 1,00 \text{ m} \quad \text{si} \quad M \leq 80 \text{ MJ/m}^2$$

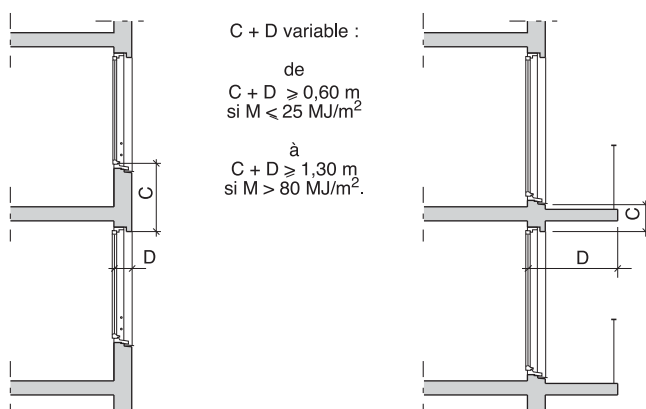
$$C + D \geq 1,30 \text{ m} \quad \text{si} \quad M > 80 \text{ MJ/m}^2$$

C est la distance verticale, exprimée en mètres, entre le haut d'une baie et le bas de la baie qui lui est superposée lorsque la façade est en maçonnerie traditionnelle ou la valeur de l'indice caractéristique des panneaux de façade vitrés déterminé par essai.

D est la distance horizontale, exprimée en mètres, entre le plan des vitres et le nu de la grande saillie de l'obstacle résistant au feu qui sépare les murs ou les panneaux situés de part et d'autre du plancher.

M est la masse combustible mobilisable de la façade, à l'exclusion des menuiseries, fermetures et garde-corps, exprimée en MJ/m² et rapportée au mètre carré de la façade, baies comprises.

La règle du C + D : deux exemples d'application



M : masse combustible de la façade

Les réponses du béton

Totalement incombustible, le béton évite tous risques de transmission directe du feu. Comme il présente aussi une montée lente en température, il prévient les risques de transmission de l'incendie par conduction. Indépendamment de ces qualités, le béton, soit coulé en place, soit sous forme d'éléments architectoniques, répond sans difficulté à la règle du C + D, notamment dans le domaine des ouvrages d'habitation, de bureaux et d'enseignement.



Feu dans un appartement, Saint-Ouen, 1997. Sans mesures préventives, le feu peut facilement cheminer d'un étage à l'autre par transmission directe, passage des gaz chauds ou rayonnement (application des articles CO 19 à 22 du règlement de sécurité incendie).



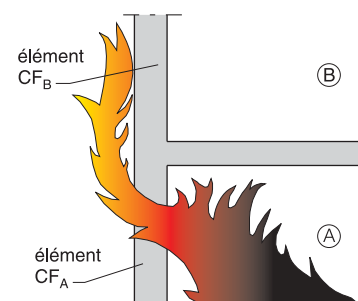
Feu dans un bâtiment dont l'ossature est en béton et la façade en éléments légers. La structure a parfaitement résisté.

Cheminement du feu dans le cas des façades aveugles

$$\text{Exigence } CF = CF_A + CF_B$$

$$CF_A + CF_B > 1/2 \text{ h} \quad \text{pour un bâtiment } < 8 \text{ m de hauteur}$$

$$CF_A + CF_B > 1 \text{ h} \quad \text{pour un bâtiment } > 8 \text{ m de hauteur}$$



D'une grande souplesse dans sa mise en œuvre et offrant un éventail de combinaisons alliant esthétique et solidité, le béton s'adapte au mieux au souci de personnalisation du projet du concepteur ; il satisfait efficacement aux exigences de protection des façades en garantissant de réelles conditions de sécurité.

Protection des toitures

• Feu d'origine intérieure

Dans le cas présent, la réaction et la résistance au feu du support sont déterminantes. Quand il s'agit d'une toiture-terrasse, on se réfère aux caractéristiques générales du gros œuvre. Pour les autres types de couverture, le matériau les constituant est l'élément principal du risque.

• Feu d'origine extérieure

Dans ce cas de figure, on prend en compte le temps de passage du feu au travers de la couverture. On le détermine par le temps de passage des flammes, fumées ou gaz inflammables, ou de chutes de gouttelettes.



La toiture de cet établissement industriel (dépôt de pesticides), soumise à une autorisation au titre de la législation relative aux installations classées par la protection de l'environnement (ICPE), est constituée de dalles de béton cellulaire armé de 20 cm d'épaisseur, doublées d'un revêtement d'étanchéité autoprotégé.



En effet, la toiture doit être incombustible. La stabilité au feu de l'ossature est de deux heures compte tenu des risques d'incendie et des charges.

Il est représenté par T suivi de :

- 30 lorsque $T > 30$ mn ;
- 15 lorsque $30 \text{ mn} > T > 15$ mn ;
- 5 lorsque $15 \text{ mn} > T > 5$ mn.

La vitesse de propagation du feu sur la surface de la couverture est représentée par un indice en fonction de la durée de propagation :

- indice 1 : durée > 30 mn ;
- indice 2 : $30 \text{ mn} > \text{durée} > 10$ mn ;
- indice 3 : durée < 10 mn.

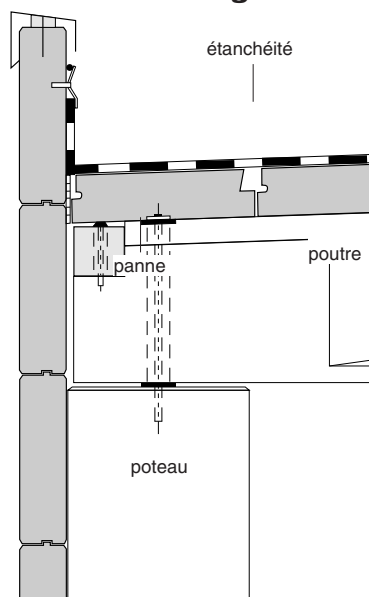
Ce classement, l'indice en particulier, concerne le revêtement d'étanchéité, mais il faut aussi considérer les protections éventuelles, l'étanchéité, l'isolant s'il y a lieu et le support. Il n'est pas tenu compte du revêtement intérieur.

Dans le cas de plusieurs bâtiments regroupés, un immeuble dont le dernier plancher habitable se trouve à moins de 28 m et à plus de 8 m au-dessus de la cote de la voie d'accès des pompiers devra obligatoirement avoir une couverture classée T301.

Les réponses du béton

Les matériaux utilisés pour les toitures doivent être incombustibles, ce à quoi répond parfaitement le béton. De nombreux incendies se déclenchent dans les toitures à la suite de travaux. Le béton présente l'avantage d'éviter tous les problèmes de propagation du feu après des travaux par point chaud (soudure). Les dalles en béton les moins épaisses sont au minimum coupe-feu un quart d'heure. Dans les ouvrages courants comme les

Principe de liaison entre l'ossature principale, le bardage et la couverture



bâtiments de logements, de bureaux et d'enseignement, les dalles pleines en béton des toitures-terrasses sont classées T301.

Pour les bâtiments industriels, certains éléments préfabriqués font l'objet d'un avis technique avec une stabilité au feu prouvée d'une heure au minimum (cette stabilité au feu peut aller jusqu'à deux heures, voire trois heures avec des protections particulières). C'est notamment le cas des coques en béton de grande largeur (2,5 m à 5 m) dont la longueur peut aller jusqu'à 30 m.

Compartmentage et distribution intérieure

Pour limiter la propagation du feu et des fumées à l'intérieur des établissements, les locaux doivent être séparés les uns des autres par des parois et des portes possédant une certaine résistance au feu, à moins qu'ils soient regroupés à l'intérieur d'un compartiment conçu pour contenir le sinistre. En dehors de ce cas, la distribution intérieure procède du cloisonnement traditionnel. Les parois des locaux et des dégagements doivent posséder un degré de résistance au feu correspondant à la stabilité exigée pour la structure du bâtiment, comme cela est indiqué dans le tableau de la page suivante.

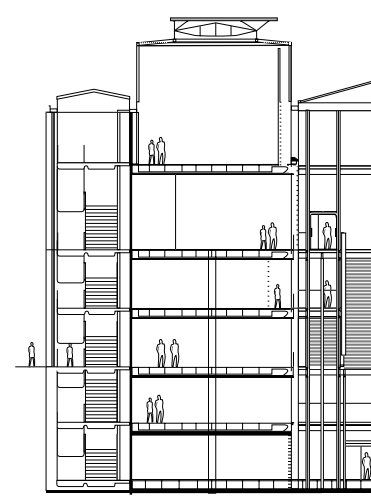
Exemples de Caractéristiques des parois			
Degré de résistance au feu exigé pour la structure du bâtiment ou de l'ERP	Caractéristiques de résistance au feu correspondantes		
	Parois entre locaux et dégagements accessibles au public	Parois entre locaux accessibles au public/ Parois entre locaux accessibles au public et locaux non accessibles au public classés à risques courants	
		Non réservés au sommeil (1)	Réservés au sommeil
Aucune exigence	PF 1/4 h	PF 1/4 h	CF 1/4 h
1/2 h	CF 1/2 h	PF 1/2 h	CF 1/2 h
1 h	CF 1 h	PF 1/2 h	CF 1 h
1 h 1/2	CF 1 h	PF 1/2 h	CF 1 h

Pour être conformes à la réglementation, les parois verticales des dégagements et des locaux doivent avoir un degré de résistance au feu en fonction du degré de stabilité de la structure (article CO 24 du règlement de sécurité incendie).

1. Toutefois, cette disposition n'est pas obligatoire à l'intérieur d'un ensemble de locaux contigus qui ne dépassent pas 300 m² au même niveau.



Les toitures en béton résistent particulièrement bien aux feux d'origine interne ou externe. Les coques de grandes dimensions (jusqu'à 30 m de longueur) peuvent présenter des degrés de résistance au feu de deux heures.



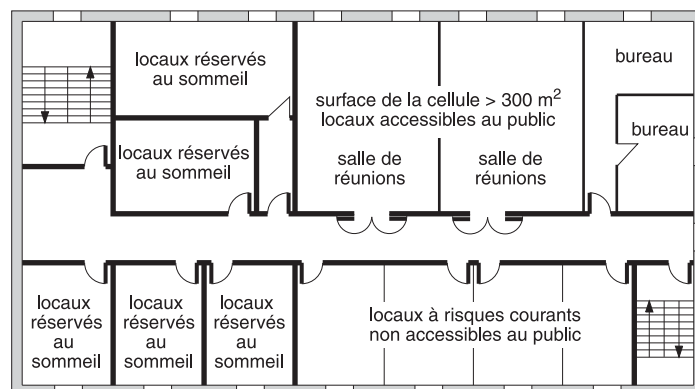
Dans un établissement recevant du public de types Y, L ou S de la 1^{re} catégorie (ici, le Carré d'Art à Nîmes), la structure, les planchers et le cloisonnement sont respectivement stables au feu et coupe-feu durant une heure et demie au minimum.

Les dégagements

Point crucial de la conception, ils devront être les plus simples et les plus directs possible pour permettre l'évacuation des occupants. Le cas des locaux réservés au sommeil est spécifique.

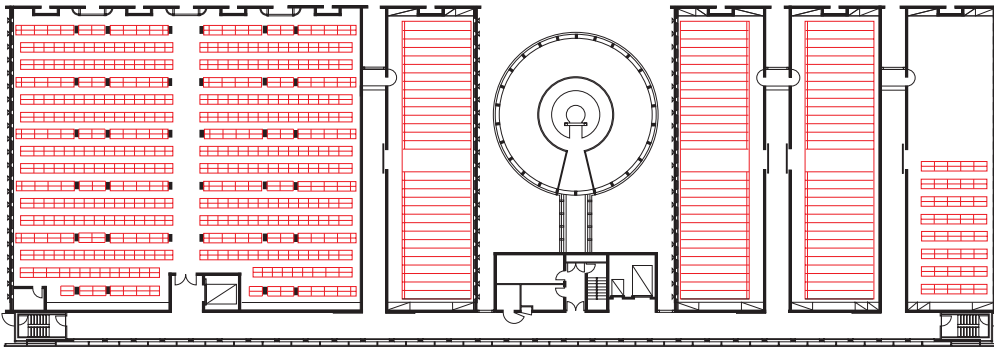
Les réponses du béton

Les murs porteurs en béton participent activement et efficacement au cloisonnement et au compartimentage des locaux, de façon économique et simple. Le béton est un excellent pare-flammes et la continuité qu'il apporte, y compris dans les assemblages, assure une étanchéité parfaite. Il est également un très bon coupe-feu. Sous réserve d'un enrobage correct des armatures, une paroi en béton peut sans protection rapportée présenter un degré coupe-feu allant jusqu'à deux heures (voir le tableau sur les murs porteurs). De la même façon, un mur en blocs béton cellulaire de 15 cm d'épaisseur ou un simple mur de blocs creux de 20 cm arrêteront et isoleront thermiquement le feu durant quatre heures.



Plan montrant un compartimentage efficace

parois CF 1h ———
 parois PF 1/2 h ———
 blocs portes PF 1/2 h /
 blocs portes non PF /



Locaux d'archives du ministère des Finances à Savigny-le-Temple
Le bâtiment, par son activité, relève de la réglementation relative aux installations classées et au Code du Travail. Le choix du béton a permis d'assurer une protection coupe-feu durant deux heures. Le compartimentage permet d'isoler facilement les magasins d'archives.

Spécificité de certains types d'ouvrage

• Les parcs de stationnement couverts

Ce sont des constructions qui permettent l'accueil de véhicules automobiles en dehors de la voie publique, à l'exclusion de toute autre activité. On peut aussi bien les trouver en superstructure qu'en infrastructure.

Les parcs répondent à différentes réglementations selon leur surface, le nombre de véhicules accueillis et leur implantation. Ainsi, les parcs de stationnement de plus de deux cent cinquante véhicules devront-ils être isolés des tiers par des murs d'un degré coupe-feu élevé :

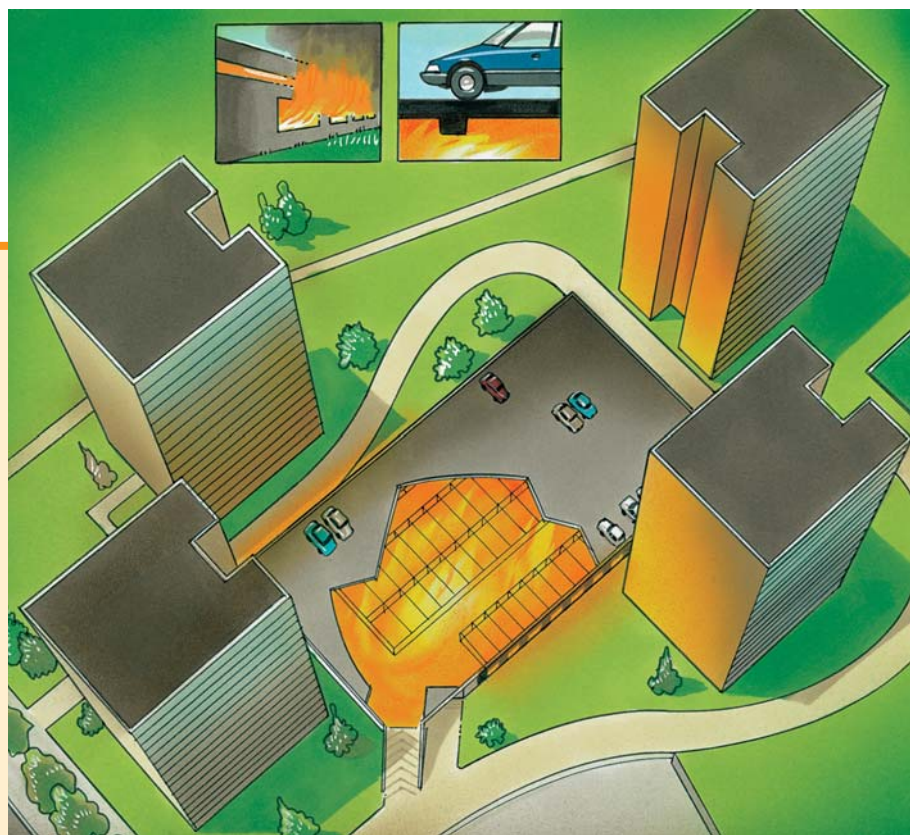
- en IGH : quatre heures ;
- en ERP du 1^{er} groupe : trois heures ;
- en installations classées : trois heures.

• Façades

Le C + D sera de 1 m en étages.

• Stabilité des structures selon la hauteur :

- R + 1 : stable au feu une demi-heure ;
- < 28 m : stable au feu une heure et demie – planchers coupe-feu une heure et demie ;
- > 28 m : stable au feu deux heures – planchers coupe-feu deux heures.



FEU VIOLENT DANS UN PARC DE STATIONNEMENT, AUBERVILLIERS, 1996

La réglementation relative à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation (arrêté du 31 janvier 1986) établit les règles de prévention pour les parcs de stationnement couverts de 100 m² à 6 000 m². Le parc présentait des structures et un plancher réglementairement stables au feu une heure. Constitué d'une ossature et de dalles en béton, le parking a parfaitement résisté au feu qui a duré quatre heures. Les véhicules qui stationnaient sur le plancher haut ont été évacués sans aucun dommage et les immeubles voisins ont été protégés par l'écran constitué par le béton. La stabilité au feu des constructions est nécessaire et indispensable pour permettre l'évacuation en bon ordre des occupants, la sauvegarde des biens et l'intervention facile des secours.

La sécurité en cas d'incendie, généralités

2.1 Directives européennes

2.2 Principes de réglementation incendie

2.3 Connaissance du feu, développement de l'incendie

2.4 Comportement au feu

2.5 Résistance au feu

2.6 Comportement des structures en béton

2.7 Les règles constructives

Dans la mémoire collective et le subconscient humain, le feu reste encore de nos jours, un fléau redouté, cause de paniques et de pertes importantes en vies et en biens :

- tous les acteurs de la construction se doivent d'employer les meilleures parades tant législatives que constructives et les meilleurs matériaux pour le combattre et limiter ses effets dévastateurs ;
- les interventions des sapeurs-pompiers s'élèvent à près de 3,230 millions en France ; 9,95 % concernent les incendies (5 % en Région Parisienne).

La répartition des sinistres par activités est à rapprocher du nombre de victimes.

On note une évolution préoccupante du nombre des interventions et des victimes dans les établissements d'habitations et les bureaux (50 140) ainsi que dans les établissements industriels et entrepôts (5 700)*.

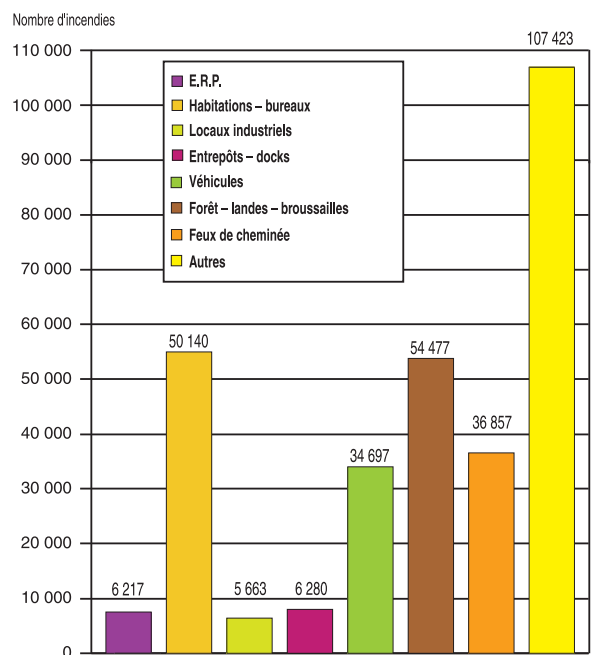
Selon la FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurance), 75 % des entreprises sinistrées déposent leur bilan.

Le coût direct des incendies s'élève à 2,3 milliards d'euros. Les causes des incendies sont qualifiées de naturelles ou d'accidentelles. On retiendra que souvent un facteur humain est à l'origine du sinistre. Dans le milieu industriel, la malveillance est en progression.

* Source : DDSC 2005.

En ce qui concerne le béton, son caractère incombustible est une évidence. Il faut, en outre, souligner sa faible vitesse d'échauffement. Soumis à une température correspondant à celle d'un incendie, le béton n'atteint au bout d'une heure que 350 °C à 3 cm de profondeur et 100 °C à 7,5 cm. Ces températures sont très en deçà de celles pour lesquelles les caractéristiques du matériau sont affectées de façon sensible (environ 600 °C). Elles montrent l'efficacité de la protection assurée par une paroi en béton, aussi bien du point de vue de sa stabilité que de la propagation du feu. Le béton armé, moyennant un enrobage suffisant des armatures, constitue donc une solution économique et sûre dans la réalisation de structures résistant au feu et de parois jouant un rôle coupe-feu.

Pour lutter efficacement contre le feu, la législation a imposé des réglementations. Un accroissement des exigences portant sur la conception des bâtiments et notamment ceux recevant du public et des travailleurs, actualise les règles et les contrôles tout en précisant les responsabilités. Des normes et essais complètent le dispositif, permettent les classements des matériaux et intègrent les évolutions technologiques et exigences européennes.



Nombre d'incendies selon les activités en 1997

Répartition du nombre des victimes d'incendie en France, en 1997 (hors BSPP ⁽¹⁾ - BMBM ⁽²⁾)			
	Personnes décédées	Blessés graves	Blessés légers
Établissements recevant du public	19	18	217
Habitations, bureaux	150	318	1 980
Locaux industriels	2	24	152
Entrepôts, docks	1	6	35
Véhicules	446	2 645	12 129
Feux de forêt	8	21	91
Feux de cheminées	3	25	114
Autres	37	70	688
Totaux partiels	220	482	3 277

1. BSPP : Brigade des sapeurs-pompiers de Paris.

2. BMBM : Brigade des marins-pompiers de Marseille

2.1 Directives européennes

Le 21 décembre 1988, une directive du Conseil des communautés européennes, « Directive Produits de Construction » a mis en exergue tout l'intérêt des législateurs Européens pour arriver à terme à une harmonisation des règles afin d'aboutir à une libre circulation des produits.

Cinq exigences essentielles ont été retenues. Parmi elles, la sécurité en cas d'incendie doit être prise en compte pour la bonne construction d'un ouvrage.

Un ouvrage doit être conçu et construit de manière qu'en cas d'incendie :

- la stabilité des éléments porteurs de l'ouvrage puisse être présumée pendant une durée déterminée ;
- l'apparition et la propagation du feu et de la fumée à l'intérieur de l'ouvrage soient limitées.
- l'extension du feu à des ouvrages voisins soient limitée ;
- les occupants puissent quitter l'ouvrage indemnes ou être secourus ;
- la sécurité des équipes de secours soit prise en compte.



Brigade des sapeurs-pompiers de Paris.
Studio AB SAT, Saint-Denis, 1997.

Un bâtiment ne pourra être efficacement protégé en cas d'incendie que si et seulement si les structures offrent des garanties de stabilité suffisamment longtemps pour permettre la mise en œuvre des matériels des sapeurs-pompiers. Sans cela, l'action de ces derniers sera inopérante, ils ne pourront pas pénétrer à l'intérieur en toute sécurité afin de maîtriser le feu au plus vite et protéger ainsi les biens et points névralgiques de la vie de l'entreprise et au sauvetage des personnes qui n'ont pu être évacuées.

Des normes d'essais et de calcul permettent de vérifier les performances des différents éléments de construction. Leur classification est réalisée à partir des normes suivantes :

- NF EN 13501-1, pour la réaction au feu ;
- NF EN 13501-2, pour la résistance au feu.

2.2 Principes de réglementation incendie

Si la réglementation française vise essentiellement à assurer la protection des personnes, on retiendra que les assureurs préconisent des mesures propres à protéger les biens.

Les grands principes tendent à :

- limiter les risques d'éclosion du feu ;
- limiter la propagation de l'incendie ;
- évacuer les personnes en danger ;
- faciliter l'intervention des secours.

Des règles constructives assorties de prescriptions de sécurité concernent les bâtiments neufs à modifier et aménager. Elles s'appliquent aux :

- établissements recevant du public (ERP) ;
- immeubles de grande hauteur (IGH) ;
- bâtiments industriels et bureaux (code du travail) ;
- installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ;
- garages et parkings ;
- bâtiments d'habitation qui sont répartis en quatre familles (les mesures de sécurité augmentent en fonction de la hauteur).

En ce qui concerne les immeubles de grande hauteur (IGH : plus de 50 m pour les habitations, 28 m pour les autres bâtiments), le règlement est plus exigeant en matière de compartimentage, et de stabilité pour éviter la propagation du feu.

Les dispositions concernant le désenfumage sont également bien précisées pour les IGH et les ERP. Les fumées présentent en effet, une double action : la toxicité et l'opacité. Il est donc nécessaire, dans les locaux réunissant de nombreux occupants, de minimiser le rôle direct qu'elles jouent en créant

une réaction de panique par manque de visibilité pour les occupants, et en gênant les interventions des secours.

Une notion globale de système de sécurité incendie a été introduite dans le règlement de sécurité. L'ingénierie de la sécurité incendie permettra d'atteindre cet objectif.

2.3 Connaissance du feu, développement de l'incendie

Le feu est un phénomène dynamique compliqué qui peut conduire à la destruction d'un bâtiment.

ÉCLOSION + PROPAGATION = DESTRUCTION

De cette constatation et de la connaissance des phénomènes, découle l'essentiel des mesures de sécurité incendie.

Trois composants sont nécessaires au développement du feu :

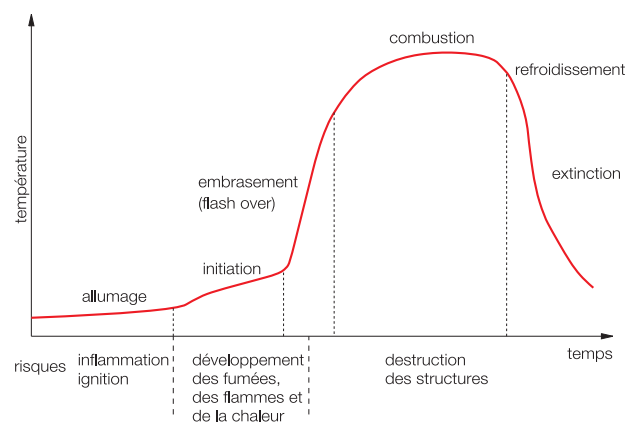
- le combustible (les matières) ;
- la source d'énergie (une flamme) ;
- le comburant (l'air).

La combustion d'un incendie passe par plusieurs phases :

- allumage ;
- initiation ;
- embrasement ;
- combustion ;
- décroissance.

La propagation du feu se fait par l'inflammation des cibles exposées à la chaleur du premier foyer, lorsque celles-ci atteignent à leur tour la température d'allumage. Au cours de cette phase, les matériaux de revêtement des murs et des plafonds

C'est à ce stade qu'il est particulièrement important que les matériaux utilisés pour les parois présentent des caractéristiques propres à maintenir la stabilité de l'ouvrage, d'une part, et à empêcher le passage des flammes et de la fumée, d'autre part. La résistance au feu est la caractéristique qui permet d'apprécier le comportement des matériaux face à ces phénomènes.



Développement d'un incendie et risque

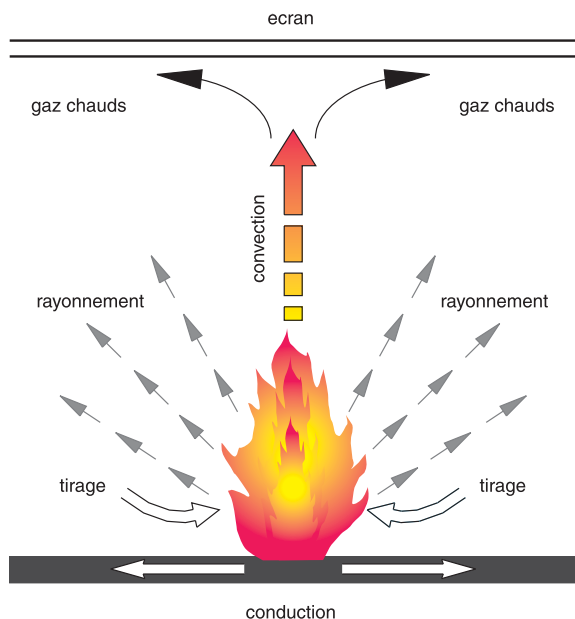
sont les plus exposés et participent au développement du feu selon leur degré d'inflammabilité.

L'embrasement généralisé d'un local correspond à un régime stationnaire de combustion, qui ne dépend plus que de la quantité de combustible et de la dimension des ouvertures. Tous les matériaux thermodégradables présents entrent en combustion. Les flux thermiques engendrés deviennent dangereux, à la fois pour les personnes et pour les biens matériels.

Mode de propagation du feu :

- conduction ;
- rayonnement ;
- convection.

Dans la phase de démarrage, il y a inflammation des matériaux combustibles situés à proximité immédiate du foyer initial. Cette phase est fonction du volume du local, du débit d'oxygène, de la quantité de matières combustibles et de leur degré de réaction au feu.



2.4 Comportement au feu

Le code de la construction et de l'habitation (art. R 121-1) prévoit une classification des matériaux et éléments de construction en fonction de leur comportement en cas d'incendie.

Deux critères sont ainsi appréciés :

- **la réaction au feu** : c'est-à-dire l'aliment qui peut être apporté au feu et au développement de l'incendie ;
- **la résistance au feu** : c'est-à-dire le temps pendant lequel les éléments de construction peuvent jouer le rôle qui leur est dévolu malgré l'action de l'incendie.

Les bétons, les mortiers de ciments et de chaux sont par nature incombustibles et classés sans essais préalables (arrêté du 21 novembre 2002 modifié).

Le **classement des matériaux** est déterminé conformément à l'arrêté du 21 novembre 2002 (rectifié par les publications au JO – 2002, page 22133, et 2003, page 02761 et modifié par l'arrêté du 13 août 2003) du Ministre de l'Intérieur. Il concerne les matériaux de construction finis et les revêtements appliqués sur leurs supports (pan-

Classement de réaction au feu		
Classement de réaction au feu		
Incombustible	M0	Béton mortier
Combustible	M1	non inflammable
	M2	difficilement inflammable
	M3	moyennement inflammable
	M4	facilement inflammable
	NC	non classé

neaux, plaques, films, feuilles, tubes, etc.). Les matières premières ne sont pas concernées.

Les matériaux sont classés en deux groupes ; combustibles et incombustibles et cinq catégories M0 à M4 et non classé.

Évolution européenne - Classement de réaction au feu

Dans un but d'harmonisation, la Commission Européenne a adopté en 1999 un système de classement en réaction au feu des produits de construction.

Six euroclasses allant de A à F des matériaux les moins combustibles aux plus combustibles pourront remplacer le classement français de M0 à M4.

Les quantités de chaleur dégagées et la présence ou l'absence de gaz inflammables permettent ces classifications.

On retiendra que selon des statistiques officielles, et l'analyse de scénarios de feu en habitation, 15 % impliquent des mousses et produits de synthèse et que les décès sont dus pour 80 % aux dégagements de gaz et de fumées.

2.5 Résistance au feu

La réglementation est basée sur la conception de bâtiments susceptibles d'empêcher la propagation d'un incendie et qui ménagent des cheminements d'évacuation pour les occupants : c'est le principe

du compartimentage des locaux. Le code de la construction et de l'habitation précise l'objectif à atteindre pour la classification de la résistance au feu. L'arrêté du 22 mars 2004, mis en application du code, précise les critères retenus pour les éléments de construction.

La classification est établie en tenant compte du temps pendant lequel sont satisfaites les conditions imposées relatives à :

- la résistance mécanique ;
- l'étanchéité aux flammes ;
- l'isolation thermique.

Aussi, selon les fonctions particulières et le rôle qu'est appelé à jouer au cours d'un incendie un élément de construction, son classement peut relever de trois catégories.

Classement de stabilité au feu (SF ou R selon le classement européen)

Le critère de résistance mécanique est requis, on mesure le temps pendant lequel un ouvrage structural (poteau, poutre, voile, etc.) ou un élément de construction soumis à une charge assurent leur fonction sans s'effondrer.

Classement pare-flammes (PF ou E selon le classement européen)

Les critères de résistance mécanique et d'étanchéité aux flammes et gaz chauds ou inflammables sont requis (paroi, cloison, porte, etc.).



Essai de plancher béton sur four horizontal

Classement coupe-feu (CF, EI ou REI selon le classement européen)

L'élément testé doit répondre aux trois critères (résistance mécanique, étanchéité aux flammes et gaz, isolation thermique).

Nota

Les gaines et conduits se voient attribuer un classement PF ou CF de traversée de paroi.

2.5.1 - Classement de résistance au feu

Les essais au four sont exécutés sur des éléments de construction mis en œuvre dans les conditions habituelles d'utilisation, en fermant une face d'un four. À l'intérieur du four, la montée en température est assurée de façon conventionnelle.

2.5.2 - Méthodes de classification

Les degrés de résistance au feu des éléments de construction sont déterminés par l'une des méthodes suivantes :

- à la suite d'essais conventionnels, isolés ou de gamme ;
- à la suite d'essais conventionnels assortis d'essais complémentaires ;
- après avis du CECMI*, à la suite d'essais semi-naturels ou naturels ;
- par extension à un procès-verbal antérieur ;
- par le calcul selon des méthodes agréées après avis du CECMI, telles que les normes ;
- par application des normes ou de l'Eurocode agréés après avis du CECMI entérinant des procédés de fabrication ;

* CECMI : comité d'étude et de classification des matériaux et éléments de construction par rapport au danger d'incendie.

Classement de résistance au feu des éléments de construction

Classement	Critères à satisfaire			Éléments concernés
	Stabilité mécanique	Étanchéité aux flammes et aux gaz	Isolation thermique	
Stable au feu (SF)	X			Poteaux Poutres
Pare-flammes (PF)	X	X		Blocs-portes Murs et cloisons
Coupe-feu (CF)	X	X	X	Murs et cloisons Planchers Blocs-portes

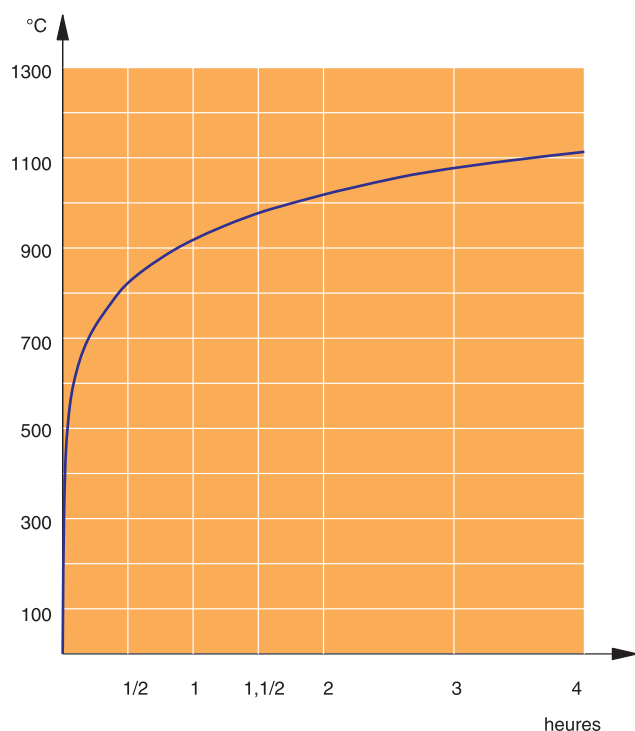
Exemple : un poteau ayant satisfait au critère de résistance pendant 1 h 10 sera classé degré stable au feu 1 h (seuil directement inférieur à celui obtenu lors de l'essai). Les classements après essais sont exprimés en degrés et en durée 1/4 h - 1/2 h - 3/4 h - 1 h - 1 h 30 - 2 h - 3 h - 4 h - 6 h.

- par un processus mixte, dans lequel par exemple les durées de satisfaction aux critères d'isolation et d'étanchéité sont déterminées expérimentalement et la stabilité est évaluée par le calcul soit directement, soit à partir des températures mesurées lors d'un essai ;
- par analogie à des cas antérieurs dont les laboratoires ont connaissance (dispositifs ou systèmes banalisés).

CECFMI : comité d'étude et de classification des matériaux et éléments de construction par rapport au danger d'incendie.

CSTB
CTICM
GERBAM } laboratoires agréés

CERIB : centre d'études et de recherches de l'industrie du béton.



Évolution des températures selon la courbe ISO 834

2.6 Comportement des structures en béton

Les impératifs de stabilité d'un ouvrage en cas d'incendie ont conduit à prévoir le comportement des structures soumises aux effets du feu et les moyens de les calculer.

Les normes ont été élaborées pour répondre à ce besoin pour les différents matériaux constitutifs : béton, acier, bois. La prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton fait l'objet de la norme P 92-701 (DTU feu béton) ou de la norme XP ENV 1992-1-2.

Le principe de justification des structures béton repose sur le calcul aux états limites ultimes de



En IGH, les planchers béton coupe-feu 2 heures évitent les catastrophes



En immeuble d'habitation, les façades et ossatures béton assurent le respect facile du C + D et la non propagation du feu aux étages supérieurs.

résistance, en affectant les contraintes d'un coefficient minorateur dépendant de la température atteinte dans la section considérée.

Les températures mesurées dans le béton montrent leur rapide décroissance en fonction de l'éloignement de la surface exposée au feu : après une heure d'exposition, 500 °C à 1,5 cm, 350 °C à 3 cm et 100 °C à 7,5 cm de profondeur. Lorsque l'on sait que le béton dispose encore de 50 à 60 % de sa capacité de résistance à 600 °C – ce qui constitue un avantage par rapport à l'acier qui, à cette température, présente un affaiblissement de ses caractéristiques mécaniques de 75 à 80 % – on peut en conclure que la stabilité d'une structure est, dans la plupart des cas, assurée pendant une durée largement suffisante à une intervention et à l'évacuation des occupants.

Le dimensionnement des structures, du point de vue de leur résistance au feu, est généralement délicat à déterminer par le calcul. Dans la plupart des cas, on peut éviter cette démarche en se référant aux résultats des essais effectués sur des éléments de structure types, qui permettent d'apprécier leur degré de résistance au feu. Pour les ouvrages particuliers, le calcul peut s'avérer pratique.

- Pour les planchers et les poutres, on a intérêt à assurer la continuité de la transmission des efforts par des aciers disposés en partie supérieure, moins affectée en cas d'incendie.
- L'augmentation de l'enrobage des aciers est favorable à la stabilité au feu ; au-delà d'une certaine épaisseur, l'emploi d'un treillage de protection permet de s'opposer à l'éclatement du béton.

Cloisons et murs en blocs de béton non enduits

Utilisation	Dimensions des blocs (Lxép.xH) mm	Type de bloc	Classe de résistance	Degré CF	Degré PF	Degré SF
Cloison coupe-feu	500x100x200	Creux, 1 rangée, 3 alvéoles	B40	1/2 H	1 H	—
	500x100x200	Plein	B80	1H30	6 H	—
Mur coupe-feu non porteur	500x200x200	Creux, 2 rangées, 6 alvéoles	B40	1H30	4 H	—
	500x150x200	Perforé	B80	3 H	—	—
	500x200x200	Creux, 3 rangées, 9 alvéoles	B40	4 H	—	—
Mur coupe-feu porteur	500x150x200	Creux, 1 rangée, 4 alvéoles	B40	1H30	3 H	4 H
	500x200x200	Creux, 2 rangées, 6 alvéoles	B40	2 H	4 H	4 H
	500x200x200	Creux, 3 rangées, 9 alvéoles	B40	4 H	6 H	6 H
	500x200x200	Perforé	B120	6 H	6 H	6 H

2.7 Les règles constructives

Pour l'ensemble des ouvrages en béton armé, certaines règles constructives générales facilitent la conception de structures aptes à satisfaire les critères d'exigence de résistance au feu et leur confèrent des degrés coupe-feu et stables au feu largement supérieurs aux exigences de la plupart des bâtiments.

Les joints de dilatation conçus pour s'opposer au passage des flammes et des gaz doivent tenir compte des variations dimensionnelles provoquées par l'élévation de température en cas d'incendie.

Le nouveau classement européen de résistance au feu

L'arrêté du 22 mars 2004 définit les nouvelles règles de classifications conformes à la réglementation européenne. Le tableau suivant précise cette nouvelle classification.



Photo BSFP



Photo BSFP

Dans les domaines du stockage industriel des matériaux inflammables et combustibles, le béton est un gage de sécurité fiable.

Relations entre le classement français et le classement européen

Spécification	Réglementation française		Normalisation européenne
Stable au feu	Stabilité au feu sous son poids propre ou sous un chargement donné: SF	↑ Coupe feu (CF) ↓	Stabilité au feu sous son poids propre: pas d'indice de classement
			Stabilité au feu sous un chargement donné: R
Pare flamme	PF		E
Isolation thermique	Pas d'indice de classement		I
Exemple 1 : élément non porteur coupe feu 1 H 30	CF 1 H 30		EI 90
Exemple 2 : élément porteur coupe feu 1 H 30	CF 1 H 30		REI 90

Les trois critères ci-après peuvent être complétés par d'autres critères de qualification tels que: M action mécanique (tenue sous un choc par exemple), W: tenue au rayonnement.

Règles simples concernant les poteaux

L'évolution des températures à l'intérieur d'un élément en béton, en fonction du temps, de l'exposition au feu et de sa section, conduit à préconiser des sections de poteaux croissant avec la durée de résistance au feu envisagée.

On constate qu'avec des sections usuelles (20 x 20 cm), les poteaux exposés au feu sur une face sont stables au feu pendant trois heures, ce qui est largement supérieur aux exigences des bâtiments d'habitation (toutes familles) et de la plupart des autres bâtiments.

Durée de résistance au feu	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 h	4 h
Poteau exposé au feu sur les quatre faces	15	20	24	30	36	45
Poteaux exposés au feu sur une face	10	12	14	16	20	26

Dimensions minimales d'un poteau à section carrée (coté en cm) selon le degré de résistance au feu.

Règles simples concernant les murs porteurs

Les valeurs d'épaisseur et d'enrobage d'acier d'un mur en béton armé en fonction de la résistance au feu escomptée sont fournies par le tableau suivant.

Durée de résistance au feu	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 h	4 h
Épaisseur du mur (cm)	10	11	13	15	20	25
Enrobage des aciers pris en compte dans les calculs (cm)	1	2	3	4	6	7

Rappel : Les parois en maçonnerie de blocs creux présentent un degré stable au feu et pare-flammes de 6 heures et un degré coupe-feu de 3 heures pour une épaisseur de 15 cm. (CF tableau précédent).

Règles simples concernant les murs non porteurs ou les dalles pleines pour planchers

Pour les dalles isostatiques de planchers, dont les armatures au niveau des appuis sont prévues pour équilibrer les moments de flexion, l'épaisseur cumulée de la dalle et de la chape doit respecter les valeurs suivantes.

Durée de résistance au feu	1/2 h	1 h	1 h 1/2	2 h	3 h	4 h
Épaisseur minimale (cm)	6	7	9	11	15	17,5

Degré de résistance au feu d'une dalle plancher (aciers sur les appuis).

Le calcul d'éléments de structure en béton (poteaux, poutres, dalles, etc.) est possible grâce au logiciel CIMFEU version 2, élaboré par le CSTB à la demande de CIMBETON.



Chapitre

3

Murs coupe-feu et écrans thermiques en béton

3.1 Comportement au feu des ouvrages

3.2 Règles constructives

3.3 Exemples de solutions techniques

Une des règles fondamentales de la sécurité incendie consiste à préserver la vie humaine en favorisant l'évacuation des personnes. Pour permettre cela dans les meilleures conditions et préserver au maximum l'ouvrage, il faut adopter des dispositions constructives destinées à limiter la propagation du feu. Dans l'éventail des solutions les murs séparatifs coupe-feu en béton apparaissent comme une évidence, car ils constituent de véritables barrières infranchissables aux flammes et aux gaz. En façade, ils permettent également de limiter fortement le flux thermique transmis à l'environnement par rayonnement et constituent ainsi un véritable écran thermique.

3.1 Comportement au feu des ouvrages

3.1.1 - Résistance et réaction au feu

La connaissance du potentiel calorifique et du comportement au feu des matériaux et éléments de construction permet d'élaborer une protection contre le feu.

3.1.2 - Règles générales

En France, le code de la construction et de l'habitation (CCH article R 121-1 à 121-13) définit les exigences que doivent respecter les matériaux et les éléments de construction du point de vue de leur comportement au feu. La résistance et la réaction au feu sont définies selon deux arrêtés du Ministère de l'Intérieur (22/03/2004 modifié et 21/11/2002 modifié). Les murs coupe-feu font appel à la notion

de résistance au feu relative aux éléments de construction. Les éléments de construction sont classés par les laboratoires officiels (CSTB, etc.). Ce classement est effectué en fonction des durées pendant lesquelles les éléments soumis aux conditions d'essais satisfont aux critères requis (arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de constructions et ouvrages modifié par les arrêtés du 20/02/2006 et du 08/09/2006). La détermination du degré de résistance au feu peut également être effectuée par le calcul sur la base des règles données par la norme P 92-701 (DTU feu béton) et l'Eurocode 2 DAN partie 1-2 (depuis juillet 1997).

3.1.3 - Règles propres aux bâtiments industriels ou commerciaux et aux entrepôts

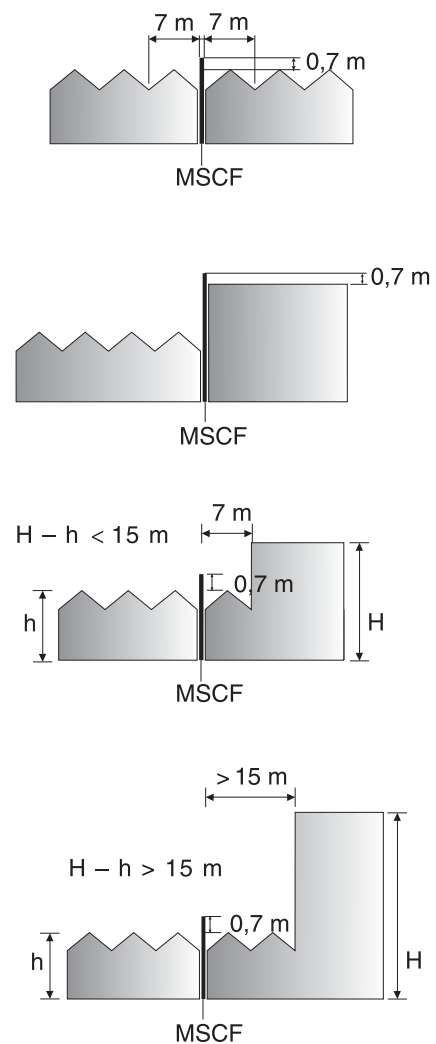
En plus des règles générales, les bâtiments industriels et commerciaux ainsi que les entrepôts sont soumis au respect des dispositions du code du travail, de la réglementation sur les installations classées (rubrique 1510) et de la réglementation relative aux établissements recevant du public (ERP) de type M. Ainsi, le code du travail impose que les bâtiments assujettis soient séparés des tiers contigus par des murs de degrés coupe-feu 1 heure au minimum. Cette exigence d'isolement est portée de 2 heures à 3 heures pour les ERP, de 2 heures à 4 heures pour les parkings de plus de 1 000 véhicules (4 heures pour un IGH). Pour les constructions entrant dans le champ d'application de la réglementation relative aux ERP, magasins de type M, les réserves des magasins doivent être séparées des locaux de vente par des murs de degré coupe-feu 2 heures. Dans le cas des bâtiments soumis à la réglementation des installations classées (ICPE), l'implantation de l'édifice conditionne le degré de résistance au feu des murs de façade l'isolant d'un tiers. Ainsi, un bâtiment accolé à un tiers doit avoir un mur de degré coupe-feu 4 heures. Les compartiments sont séparés par des murs de degré coupe-feu 2 heures.



3.1.4 - Apport du béton à l'efficacité du mur coupe-feu

La nécessité des murs coupe-feu est une évidence. Leur présence permet de lutter contre la propagation et le développement de l'incendie. Du fait de ses performances, le béton est un matériau qui présente toutes les qualités pour réaliser des murs coupe-feu efficaces répondant aux exigences des réglementations en vigueur applicables aux bâtiments industriels et entrepôts. Le béton est un matériau pérenne et sûr. Sa résistance au feu est particulièrement bonne.

Pendant un incendie, la ruine brutale d'un bâtiment peut provoquer des accidents lors de l'évacuation des personnels ou de l'intervention des sauveteurs. La présence de murs coupe-feu en béton et d'une structure en béton associée aux murs permet aux services de secours d'effectuer les opérations de lutte en toute sécurité sans craindre d'effondrement. De plus comme dans ce cas, l'incendie ne peut pas provoquer l'effondrement de l'ouvrage et sa ruine brutale, la responsabilité pénale du chef d'entreprise ne peut pas être invoquée et engagée. Les murs coupe-feu en béton comme les structures en béton sont dans la majorité des cas facilement réparables après un incendie, ce qui favorise la remise en service du bâtiment et la reprise de l'activité dans les meilleurs délais. Au



Murs séparatifs coupe-feu (MSCF) selon la règle - dépassement en toiture.

regard des assurances, l'emploi du béton permet d'obtenir des réductions des primes d'assurance du fait de son caractère coupe-feu naturel. Ainsi par exemple, les murs coupe-feu en béton répondent sans aucune difficulté aux règles de la FFSA, (Fédération Française des Sociétés d'Assurances), règle APSAD (R15) en la matière.

3.2 Règles constructives

3.2.1 - Règles générales

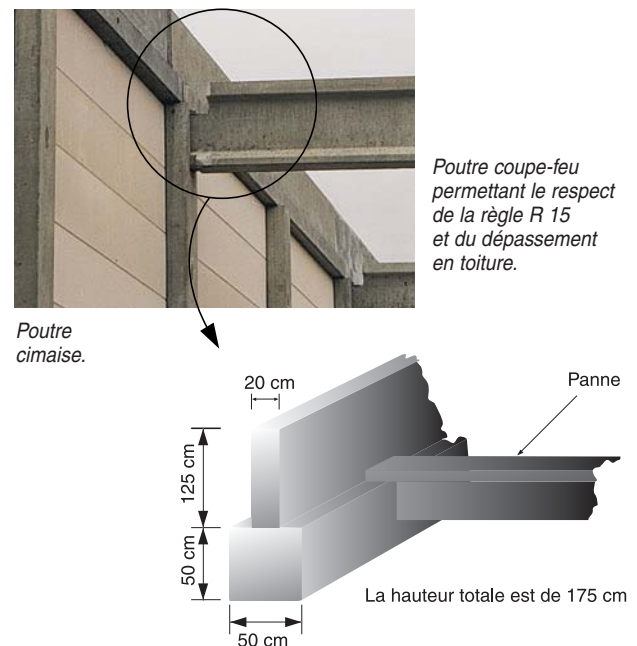
L'évaluation des performances des murs coupe-feu peut être déterminée soit par essais conventionnels (cas des maçonneries), soit par calculs selon la norme P 92-701 (DTU feu béton) – ou selon l'Eurocode 2. L'action du vent est prise en compte dans les calculs au feu, le mur séparant deux compartiments doit en effet rester mécaniquement stable. La structure doit être conçue de façon à ce que l'effondrement d'une des parties du bâtiment séparées par le mur coupe-feu n'entraîne pas la ruine du dit mur et la propagation du feu vers un autre compartiment. Les poteaux de structure en béton présentent un degré de stabilité au feu de 4 heures ou 2 heures selon le besoin. Dans le cas d'un mur séparatif coupe-feu réalisé à partir d'un remplissage entre poteaux en béton, les éléments de remplissage doivent être des panneaux préfabriqués en béton, des panneaux préfabriqués en béton cellulaire, des blocs de béton. Les joints de dilatation sont obligatoirement constitués de produits ignifuges. De façon générale, le mur séparatif coupe-feu doit dépasser de 50 cm au minimum sur les côtés du bâtiment et de 1 mètre en toiture. Son degré de résistance au feu (poteaux et mur) peut varier de 2 à 4 heures selon la réglementation applicable.

3.2.2 - Règles complémentaires propres aux assurances

La FFSA distingue les installations à risques séparés par des dispositions constructives permettant de s'opposer au feu et préservant ainsi les biens et l'outil économique. La FFSA définit donc un ensemble de règles de construction dont le respect permet de bénéficier de réductions de primes. La règle APSAD R15 porte sur la construction des murs séparatifs coupe-feu.

Dans le cadre de cette règle, la définition des murs séparatifs coupe-feu précise que ce sont des ouvrages destinés à séparer deux bâtiments ou deux parties d'une même construction, de telle sorte que tout incendie se déclarant d'un côté du mur séparatif coupe-feu ne puisse pas se propager de l'autre côté. **Et un mur séparatif coupe-feu doit pouvoir assumer sa fonction en se suffisant à lui-même.**

Pour répondre aux exigences de la règle par rapport à son comportement au feu, un mur séparatif coupe-feu doit être construit avec des matériaux classés incombustibles (MO) selon les normes habituelles et



présenter un degré coupe-feu d'au moins 4 heures quelle que soit la face du mur exposée au feu. À cela s'ajoute l'obligation de respecter les dispositions constructives relatives aux élancements entre chaînages horizontaux des matériaux (inférieur ou égal à 35). Les murs en béton sont soumis au respect de la norme P 92-701 (DTU feu béton). De plus, les murs séparatifs coupe-feu doivent d'une part résister mécaniquement aux chocs ainsi qu'à l'action de l'eau des lances d'incendie et d'autre part prendre en compte l'action du vent en cas d'effondrement d'un compartiment suite à un incendie.

Du point de vue de sa configuration, les règles constructives de l'APCAD précisent que le mur séparatif coupe-feu est vertical de la base au faite et non porteur (donc autostable), à l'exception de dispositions particulières (corbeaux, appuis glissants, respect des dilatations, etc.). Le mur doit obligatoirement dépasser de la toiture d'au moins 0,70 m et déborder sur les côtés de 0,50 m par rapport au nu extérieur de la façade (1 m pour la rubrique 1510).

Dans le cas où des passages de communication sont présents dans un mur séparatif coupe-feu, les ouvertures doivent être équipées de portes doubles coupe-feu 1 h 30 et pare flammes 2 h selon la règle R 16 de l'APCAD. Les câbles électriques et les canalisations doivent impérativement passer sous le mur séparatif coupe-feu. Le passage de conduits de ventilation ou de climatisation à travers un mur séparatif coupe-feu n'est pas admis. Le passage de convoyeurs ou de bandes transporteuses doit faire l'objet d'une étude spécifique.

3.3 Exemples de solutions techniques

Le béton et les composants en béton offrent un large éventail de solutions techniques performantes et économiques pour réaliser des murs séparatifs coupe-feu. Parmi les solutions le plus souvent utilisées pour les bâtiments d'industries et de commerce on peut citer les techniques suivantes.

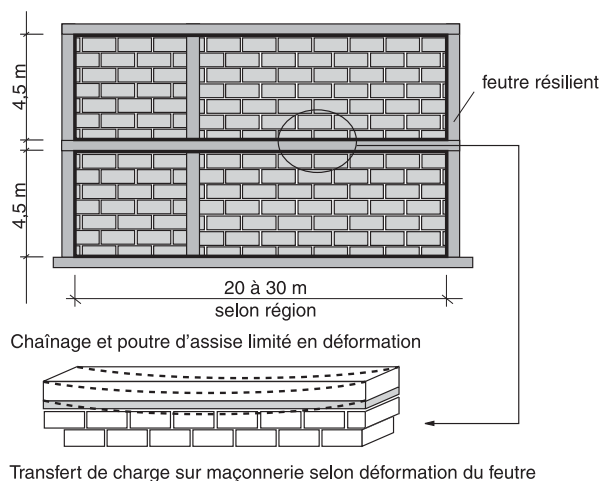
3.3.1 - Les murs séparatifs coupe-feu en blocs de béton traditionnel

Dans ce type de solution technique, le mur séparatif coupe-feu peut être constitué d'une maçonnerie porteuse (avec chaînages intégrés) ou autoporteuse (remplissage associé à une structure stable au feu). Lorsqu'il s'agit par exemple d'un panneau de remplissage inséré entre poteaux et poutres, la maçonnerie doit être montée sur bande résiliente afin de permettre sa libre dilatation.

Le dimensionnement et la mise en œuvre des éléments constitutifs du mur se font conformément aux règles de la norme P 10-202 (DTU 20.1). L'élancement géométrique des maçonneries (hauteur/épaisseur) est en général limité à 20 (30 dans le cas d'un mur de remplissage, avec une hauteur ne pouvant dépasser 4,5 m).

Chaînages

Pour les murs autostables, un chaînage horizontal et vertical continu en béton armé doit ceinturer la construction à chaque passage de plancher ou tous les 4 m environ (règle de l'élancement) ainsi qu'en couronnement.



Respect de l'élancement mécanique des murs.

En ce qui concerne les murs de remplissage, la fonction de chaînage est normalement assurée par l'ossature.

Tenue au feu des blocs de béton

Le tableau ci-après donne, pour des maçonneries non enduites, les différents degrés de résistance au

La tenue au feu des blocs après essais									
Dimensions des blocs	Type de bloc	N° du PV d'essai	Référence de reconduction	Date limite de validité	CF	Degré PF	SF	Classe de résistance	Utilisation
10 x 20 x 50	plein	CSTB 92.33345	SF.DE.97.0477	12/05/2002	1 h 30	6 h	-	B80	cloison
10 x 20 x 50	creux	CSTB RS 99.050	-	20/06/2004	1/2 h	1 h	-	B40	
20 x 20 x 40	plein	CSTB 93.35280	SF.DE.98.0208	20/10/2003	6 h	6 h	6 h	B160	mur porteur
15 x 20 x 50	perforé	CSTB 86.24014	SF.TE.97.0275	5/03/2002	3H	6 h	6 h	B80	
17,5 x 20 x 50	perforé	CSTB 86.24013	SF.TE.97.0274	23/03/2002	4H	6 h	6 h	B80	
20 x 25 x 50	perforé	CSTB 90.30453	SF.TE.95.948	29/11/2000	3H	6 h	6 h	B80	
20 x 20 x 50	perforé	CSTB 97.023	-	06/2002	6 h	6 h	6 h	B120	
15 x 20 x 50	Creux 1 rangée d'alvéoles	CSTB 85.2276	SF.TE.96.0240	25/02/2001	1 h 30	3H	4H	B40	
15 x 20 x 50	Creux 2 rangées d'alvéoles	CSTB 85.22030	SF.TE.95.421	7/05/2000	2H	6 h	6 h	B40	
20 x 20 x 50	Creux 2 rangées d'alvéoles	CSTB 85.22031	SF.TE.95.560	19/06/2000	3H	6 h	6 h	B40	
20 x 20 x 50	Creux à emboîtement (1)	CSTB 91.31532	SF.TE 96.0849	14/08/2001	2H	6 h	6 h	B40	

1. Avec joint vertical central rempli.

Remarque sur la réaction au feu : les matériaux « béton et mortiers de ciments et de chaux » sont classés a priori, sans essai, MO.

feu des blocs de béton en fonction de leur type et de leurs dimensions. Ces durées sont déterminées expérimentalement lors d'essais effectués par la station feu du CSTB, selon les dispositions de l'arrêté du 22 mars 2004. Le CERIB est détenteur des procès-verbaux de ces essais (voir également le site cerib.com).

Joint de dilatation

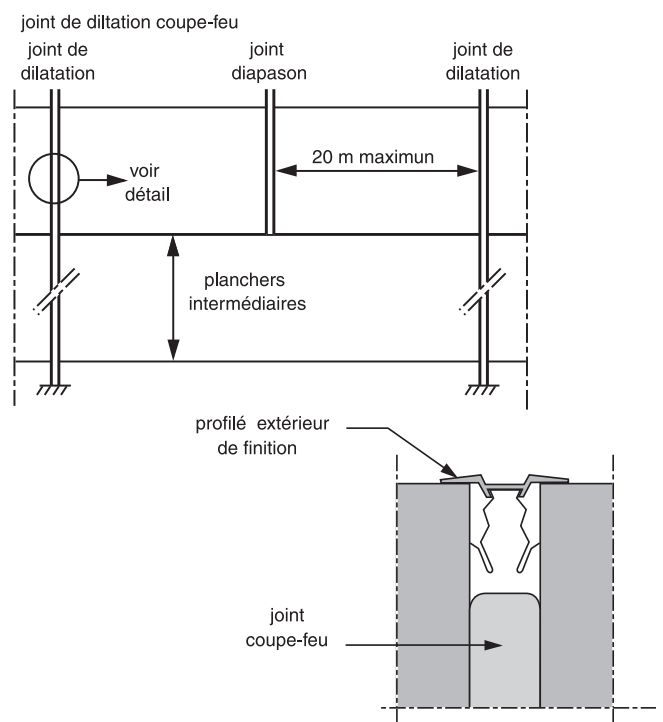
Des joints de dilatation et de retrait sont nécessaires dans les maçonneries de grande surface. Lorsqu'il s'agit de murs porteurs, la distance entre deux joints successifs, ou entre l'extrémité du bâtiment et le premier joint est la suivante :

- 20 m dans les régions sèches ou à forte opposition de température ;
- 35 m dans les régions humides et tempérées.

Dans les cas d'un mur constitué en maçonnerie de remplissage, la distance va de :

- 20 à 35 m dans les régions sèches ou à forte opposition de température ;
- 30 à 35 m dans les régions humides et tempérées.

Selon la résistance de la toiture, des joints « diapason » doivent être mis en œuvre entre deux joints de dilatation.



3.3.2 - Les murs séparatifs coupe-feu en blocs de béton cellulaire

Les blocs utilisés présentent une longueur de 62,5 cm, une hauteur de 25 cm et leur épaisseur peut varier de 15 à 37,5 cm. Ce type de mur peut être autoporteur (remplissage) ou porteur. En matière de résistance au feu il est coupe-feu 4 h.

Principe de dimensionnement

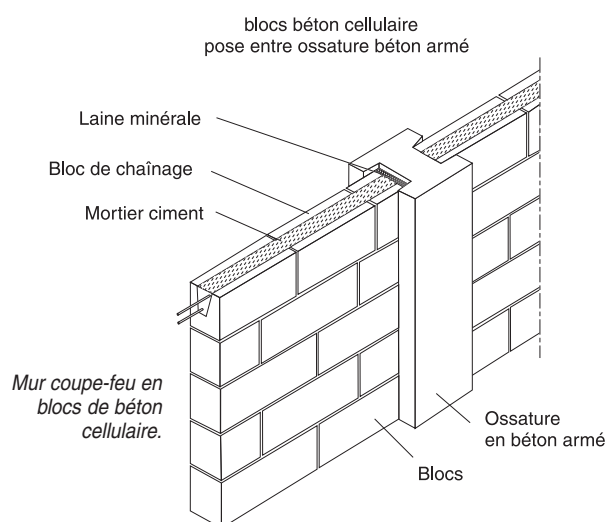
Le dimensionnement est réalisé selon la norme P 10-202 (DTU 20.1), avec les dispositions constructives minimales suivantes.

Pour les murs autoporteurs (remplissage) les dimensions varient suivant la position (mur intérieur ou mur extérieur), les dispositions d'appuis, l'effort du vent appliqué sur le mur.

Ainsi par exemple un mur de remplissage soumis à une pression du vent égale à 0,3 kN/m² aura les dimensions suivantes :

Hauteur : < 25 fois l'épaisseur des blocs

Longueur : < 40 fois l'épaisseur des blocs



Pour les murs porteurs – norme P 10-202 (DTU 20.1), le principe de dimensionnement est le suivant :

Hauteur : < 20 fois l'épaisseur des blocs

Longueur droite maximale des murs : < 40 fois l'épaisseur des blocs

Contrainte limite de compression $C = R/N$, R désignant la résistance caractéristique normalisée à la



Entrepôts, mur coupe-feu 4 heures.

compression (R_{cn}) et N le coefficient d'affaiblissement lié à l'élançement et au mode de chargement (centré ou non) – voir tableau ci-dessous.

Élançement géométrique (h/e)	N (chargement centré)	N (chargement excentré)
15	5	6.5
20	6.65	8.64

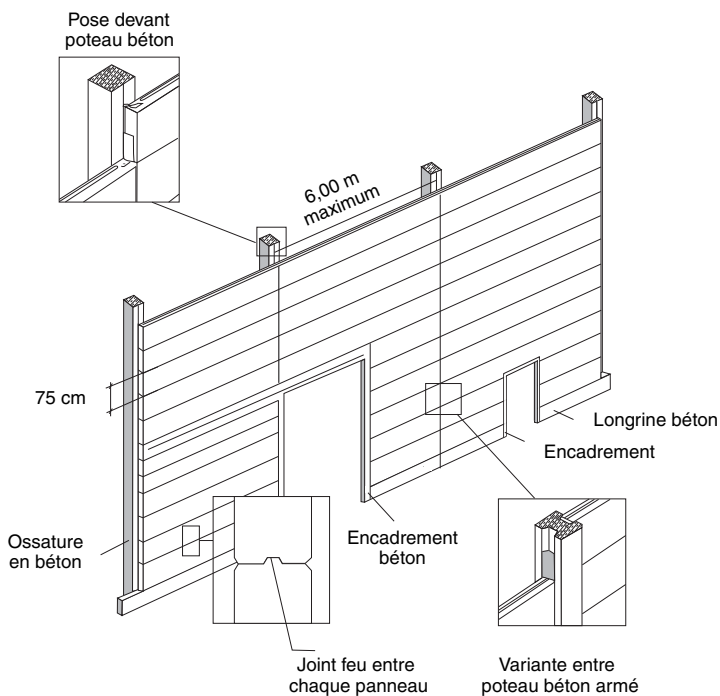
Pour une maçonnerie de blocs de 350 kg/m³ ($R_{cn} = 3$ MPa) et pour un chargement centré avec un élançement de 20 ($N = 5$) $C = 0.35$ MPa

3.3.3 - Les murs séparatifs coupe-feu constitués de poteaux béton et panneaux en blocs de béton cellulaire armé

À titre d'exemple, un mur de ce type constitué de poteaux en béton de 45 × 45 cm et de panneaux de 600 × 60 × 15 cm (posé devant ou entre les poteaux) présente un degré coupe-feu de 4 heures. Il faut aussi noter que le PV du CSTB n° 87-25851 en date du 11/07/95 précise : « qu'un mur expérimental en éléments de béton cellulaire armé de 15 cm d'épaisseur présentant une masse volumique nominale de 450 kg/m³, monté à joints souples, détermine un degré coupe-feu de 4 heures ».

En fonction de l'épaisseur du mur la hauteur limite du mur est :

- Épaisseur du mur 15 cm - H = 17 m
- Épaisseur du mur 20 cm - H = 22 m
- Épaisseur du mur 25 cm - H = 28 m



3.3.4 - Les murs séparatifs coupe-feu en éléments préfabriqués en béton

Ces murs sont constitués avec des panneaux préfabriqués en béton armé ou précontraints qui peuvent être associés ou non à une structure poteaux-poutres en béton. Les éléments de parois les plus couramment utilisés sont les panneaux pleins, les panneaux nervurés, les panneaux sandwichs. Ils peuvent être porteurs, autoporteurs, portés par la structure ou suspendus à la structure. Les panneaux sont assemblés entre eux et à la structure par joints de mortier continus, liaisons bétonnées ponctuelles ou continues avec ou sans armatures en attente, liaisons mécaniques boulonnées, brochées ou soudées. Dans le cas de liaisons ponctuelles, des joints coupe-feu doivent être installés entre chaque élément. Les caractéristiques et la mise en œuvre des éléments en béton préfabriqué sont définies dans la norme P 10-210 (DTU 22.1) et les prescriptions techniques des procédés de murs ou de gros œuvre. Le guide de Cimbéton « Architecture: construire en béton pré-

fabriqué » (référence B 62) fournit un ensemble d'informations sur l'emploi de ce type d'éléments.

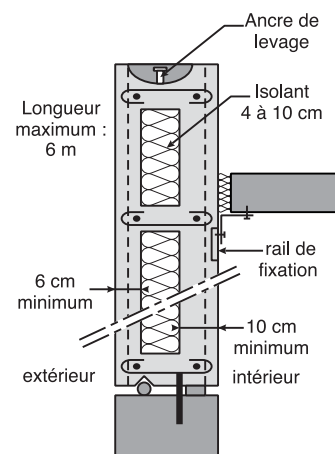
En première approximation, le degré coupe-feu d'un mur composé avec des panneaux pleins préfabriqués en béton peut se déduire des règles simplifiées, issues de la norme P 92-701 (DTU feu béton) ou de la norme européenne XP ENV 1992-1-2, exprimées dans le tableau suivant.

Degré CF	1/2 h	1 h	1 h 30	2 h	3 h	4 h
Murs porteurs Épaisseur en cm	10	11	12	15	20	25
Murs non porteurs Épaisseur en cm	6	7	9	11	15	17,5

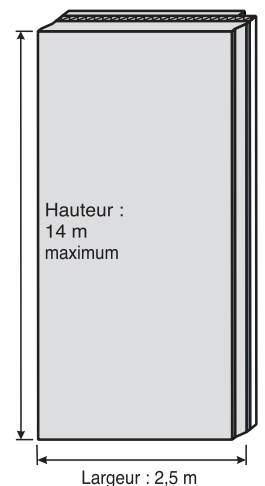
Ces règles concernent des murs dont l'élançement mécanique ($\frac{\sqrt{12} \cdot h_f}{e}$, avec h_f hauteur libre au flambement et e épaisseur de l'élément) est au plus égal à 50 et sont valables pour un mur exposé au feu sur un ou deux côtés.

La tenue au feu de murs à base de panneaux sandwichs nécessite une étude thermique particulière permettant de déterminer la répartition des températures à l'intérieur de l'élément. Leur degré coupe-feu varie d'une demi-heure à 2 heures.

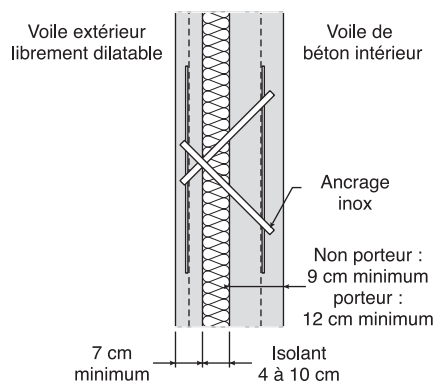
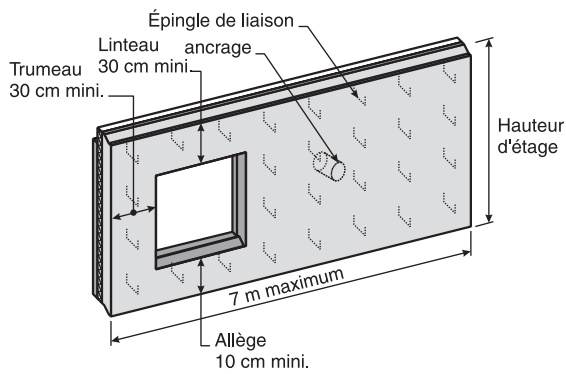
Panneaux sandwichs à voiles solidaires.



Panneau coupe-feu de façade pour bâtiment industriel.



Panneaux sandwichs à voile extérieure librement dilatable.



Entrepôts CGM, façades à base de murs en dalle alvéolées.

du degré coupe-feu requis. Des joints coupe-feu doivent obligatoirement être mis en œuvre entre chaque panneau.

Des informations plus complètes sont données dans le guide B 67 de la collection technique de CIMBETON « Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique ».

3.3.5 - Murs séparatifs coupe-feu en béton coulé en place

Le béton coulé en place peut tout à fait être utilisé pour réaliser des murs séparatifs coupe-feu. La mise en œuvre de ces ouvrages doit répondre aux règles et au code de calcul les concernant: le DTU 23.1, la norme P 92-701 (DTU feu béton), le fascicule 62 du CCTG ou la norme européenne ENV 1992-1-2.

3.3.6 - Murs séparatifs coupe-feu constitués de panneaux verticaux en dalles alvéolées en béton précontraint

Les panneaux en dalles alvéolées précontraintes peuvent permettre de réaliser des murs séparatifs coupe-feu. Il faut pour cela adapter l'épaisseur d'enrobage des câbles de précontrainte en fonction

Utilisation	Dimensions des blocs (L x ep x h) mm	Type de bloc	Groupe selon EC 6	Classe de résistance	Degré CF	Degré PF	Degré SF	n° du PV d'essai	Référence de reconstruction	Date de validité
Cloisons coupe-feu	500 x 100 x 200	Plin	1	B80	1 h 30	6 h	-	CSTB 92.33345	BDP713-02/2	12-05-2007
	500 x 100 x 200	Creux 1 rangée 3 alvéoles	3	B40	0 h 30	1 h	-	CSTB RS 99.050	-	20-06-2004*
Murs coupe-feu non porteurs	500 x 200 x 200	Creux 2 rangées 6 alvéoles	3	B40	1 h 30	4 h	-	CSTB RS 01.095	-	21-09-2006*
	400 x 200 x 200	Creux apparent**	2	P80	2 h	6 h	-	CSTB RS 01.096	-	25-09-2006*
Murs coupe-feu porteurs	500 x 150 x 200	Creux 1 rangée 4 alvéoles	3	B40	1 h 30	3 h	4 h	CSTB 85.22776	BDP461-01/3	25-02-2006*
	500 x 150 x 200	Creux 2 rangées 6 alvéoles	3	B40	2 h	6 h	6 h	CSTB 85.22030	GA898-00/3	07-05-2005*
	500 x 200 x 200	Creux 2 rangées 8 alvéoles Parois 20mm	3	B40	3 h	6 h	6 h	CSTB 85.22031	GA738-00/3	19-06-2005*
	500 x 200 x 200	Creux 2 rangées 6 alvéoles	3	B40	2 h	4 h	4 h	CSTB RS 02.096	-	08-10-2007
	500 x 200 x 250	Creux 2 rangées 6 alvéoles Emboitements***	3	B40	2 h	6 h	6 h	CSTB 91.31532	BDP1053-01/2	14-08-2006*
	500 x 150 x 200	Perforé	1	B80	3 h	6 h	6 h	CSTB 88.24014	BDP542-02/3	05-03-2007
	500 x 175 x 200	Perforé	1	B80	4 h	6 h	6 h	CSTB 88.24013	BDP543-02/3	23-03-2007
	500 x 200 x 200	Perforé	1	B120	6 h	6 h	6 h	CSTB RS 97.023	BDP714-02/1	12-06-2007
	500 x 200 x 250	Perforé	1	B80	3 h	6 h	6 h	CSTB 90.30453	BDP046-01/2	29-11-2005*
	400 x 200 x 200	Plin	1	B160	6 h	6 h	6 h	CSTB 93.35280	SL1241-03/2-2	26-10-2008

* Procès-verbaux valides jusqu'au 1^{er} avril 2011 en application de l'article 22 de l'arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits et ouvrages

** Avec voile de pose alvéoles non débouchantes) *** Avec joint vertical central rempli

TABLEAU DES RÉSULTATS DES TENUES AU FEU SUR BLOCS EN BÉTON SELON L'ARRÊTÉ DU 22 MARS 2004

Murs coupe-feu non porteurs	500 x 200 x 200	Creux 2 rangées 8 alvéoles	3	B40	(EI) 120 min	IEI 120 min	-	CSTB RS-06-076	---	18-04-2011
	500 x 200 x 200	Creux 3 rangées 9 alvéoles	3	B40	(EI) 240 min	IEI 120 min	-	CSTB RS-05-059	---	20-05-2010
Murs coupe-feu non porteurs	500 x 150 x 200	Perforé	1	B80	(EI) 180 min	IEI 120 min	-	CSTB RS-06-153	---	6-10-2011
Murs coupe-feu porteurs	500 x 200 x 200	Creux 2 rangées 8 alvéoles	3	B40	(REI) 120 min	IREI 360 min	-	CSTB RS-05-005	---	9-02-2010
	500 x 200 x 200	Creux 3 rangées 9 alvéoles	3	B40	(REI) 240 min	IREI 360 min	-	CSTB RS-06-075	---	17-05-2011

REI : Performance coupe-feu mur porteur - EI : Performance coupe-feu mur non porteur

E : Performance d'étanchéité - RE : Performance de capacité portante et d'étanchéité

Les essais répertoriés dans les tableaux ont été réalisés sur des murs non enduits montés à l'aide de blocs en béton conformes aux normes NF P 14-402, NF P 14-301, NF P 14-102 ou NF EN 771-3 et NF P 12-203-2 selon le cas.

Chapitre

4

Résistance au feu des bétons

4.1 - Comportement aux températures élevées

4.2 - Conductivité thermique

**4.3 - Évolution des résistances du béton
et de l'acier en fonction de la température**

Les risques liés aux incendies ne sont pas les mêmes d'un pays à l'autre. Aux États-Unis, par exemple, le feu tue tous les ans près de 6 000 personnes, soit un peu plus de 2,4 pour 100 000 habitants, alors qu'en France ce taux est de l'ordre de 1 pour 100 000. Impliquées dans le suivi des risques, les compagnies d'assurances imputent cet écart à la différence entre les modes constructifs dans les deux pays. Les États-Unis ont, en effet, une tradition de construction légère principalement en bois et en acier, alors qu'en France la majeure partie du patrimoine est construite « en lourd » et, plus particulièrement depuis la Seconde Guerre mondiale, en béton.

Si l'on suit le développement d'un incendie, on comprend comment matériaux et techniques de construction participent directement à la propagation et à l'alimentation du feu. Une cause extérieure accidentelle est pratiquement toujours à l'origine d'un incendie : court-circuit électrique, cigarette mal éteinte, fonctionnement défectueux d'un appareil ménager, etc. Le feu couve et l'incendie n'entre, en fait, dans son premier état, dit « de démarrage », que si des matières combustibles se trouvent à proximité, tissus, papier, mobilier, etc., mais également certains matériaux de construction. Pour que le feu se développe, il faut dans le même temps un apport suffisant d'oxygène : l'oxygène contenu dans le local, mais aussi celui fourni par les ventilations et les ouvertures⁽¹⁾.

Au cours de l'incendie, la température atteint fréquemment 1 000 °C en surface des éléments de la construction. Les matériaux doivent donc être incombustibles pour ne pas alimenter l'incendie en s'enflammant. Par ailleurs, l'aptitude des structures et des éléments de construction à conserver leur rôle principal durant l'incendie et à s'opposer à l'extension du feu est caractérisée par :

- leur résistance au feu ; ils peuvent être stables au feu (SF), coupe-feu (CF) ou pare-flamme (PF) pour des temps déterminés (de 1/4 h à 6 heures) ;
- leur réaction au feu, classée de MO à M4⁽²⁾.

1. Le mode de propagation du feu est décrit plus haut dans le chapitre « Sécurité incendie ».
2. Voir le classement des matériaux au chapitre « Sécurité incendie ».

4.1 - Comportement aux températures élevées

Le tableau ci-dessous indique que plusieurs phénomènes physico-chimiques se succèdent lorsque la température du béton évolue de 100 à 1 000 °C et plus. Ils correspondent à des modifications sensibles de la pâte cimentaire et des granulats à partir de 500 °C, modifications qui se traduisent par un affaiblissement des qualités du béton (résistance mécanique, modules de déformation, etc.). L'expérience montre pourtant que la résistance au feu des structures en béton est couramment assurée alors que le béton situé dans une ambiance à plus de 1 000 °C devrait subir des transformations rédhibitoires. Que se passe-t-il donc concrètement ?

Jusqu'à 100 °C	simple dilatation
De 100 à 150 °C	évaporation de l'eau des pores
À partir de 150/180 °C	l'eau d'hydratation de (OH) ₂ Ca est libérée, la pâte de ciment se contracte
De 400 à 500 °C	l'hydroxyde de calcium se décompose en CaO et H ₂ O La vapeur d'eau peut engendrer un phénomène d'écaillage
De 570 à 700 °C	le quartz a devient quartz b (573 °C)
De 700 à 800 °C	le CSH devient b CSH
À partir de 800 °C	le calcaire se décompose (en granulats, par exemple) et devient CO ₂ Ca · OCa + CO ₂
De 1 150 à 1 200 °C	le calcaire se décompose (en granulats, par exemple)
À partir de 1 300/1 400 °C	le béton est en masse fondue

Si une altération de l'ouvrage est visible en surface, on constate qu'elle ne se retrouve pas dans son épaisseur. De fait, la température dans la masse est très inférieure à la température de surface ; elle ne s'élève ni instantanément ni de façon homogène dans les éléments en béton. Celui-ci présente, en effet, une inertie à la propagation du flux de chaleur dans sa masse et la température ne s'y élève que lentement. On se sert de cette qualité pour l'isolation thermique des bâtiments. De plus, l'expérience individuelle permet une compréhension intuitive du phénomène : en été, après une journée d'exposition au soleil, on remarque que la surface extérieure d'un mur en béton est chaude au toucher alors que l'ambiance à l'intérieur de la pièce est restée fraîche si l'on a pris soin de l'occulter. Le flux de chaleur reçu par la face extérieure du mur ne l'a pas traversé intégralement. Cela résulte de la conductivité thermique du matériau.

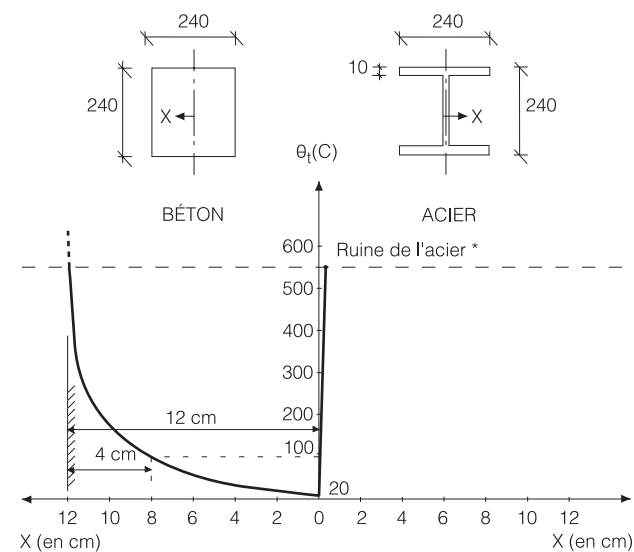
4.2 - Conductivité thermique

Avec une valeur moyenne de 1,5 W/mK, la conductivité thermique l d'un béton courant, ou son aptitude à transmettre les flux de chaleur, est faible. L'essai, décrit ci-après, illustre le phénomène suivant : un poteau en béton et un poteau en acier de 240 x 240 mm sont soumis à un feu ISO (feu de référence pour les essais). On constate que :

- presque instantanément, les différentes parties du profilé acier, peu épaisses et très conductrices de la chaleur, sont portées à 550 °C, température de ruine de l'acier, qui ne présente plus alors de caractéristiques mécaniques significatives ;
- après quinze minutes, la surface du poteau en béton atteint cette même température de 550 °C mais « à cœur », la température est d'environ 20 °C et à 4 cm de la surface, zone où l'on trouve les armatures, elle n'atteint pas 100 °C. Le poteau en béton et ses armatures présentent donc des caractéristiques mécaniques non affectées par l'exposition au feu.

Les armatures du béton armé et du béton précontraint ont un rôle déterminant dans la tenue des ouvrages : elles assurent prioritairement, et presque toujours seules, la résistance à l'état ultime des parties sollicitées en traction-flexion. C'est donc leur comportement aux températures atteintes pendant un incendie qui détermine la tenue de l'ouvrage.

Élévation de la température en profondeur dans les sections de béton et d'acier



Profondeur de pénétration de la chaleur dans des sections en acier et en béton (de 240 x 240 mm) soumises à un feu ISO.

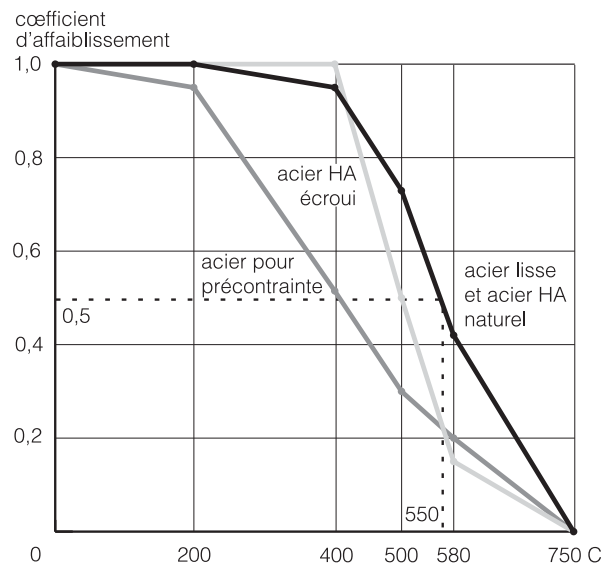
* L'acier a perdu plus de 50 % de sa résistance.

4.3 - Évolution des résistances du béton et de l'acier en fonction de la température

Les évolutions et les altérations du béton en cas de hausse de température, décrites dans le tableau « Comportement du béton en fonction de son échauffement » (voir page précédente), se traduisent entre autres par un affaiblissement de la résistance à la compression du matériau. La résistance reste constante jusqu'à 250 °C puis décroît pour ne plus représenter à 600 °C que 45 % de ce qu'elle était à 20 °C ; elle devient nulle à 1000 °C.

La courbe ci-dessous présente les résultats d'essais montrant cette décroissance pratiquement linéaire de la résistance d'un béton courant à partir de 250 °C. Le fuseau autour de la courbe moyenne exprime principalement les différences de valeurs obtenues suivant la nature des granulats. Les bétons de granulats siliceux se situent en partie basse du fuseau alors que les bétons de granulats calcaires, résistant mieux à la température, en occupent la partie haute.

Affaiblissement de la résistance de trois nuances d'acier en fonction de la température par rapport à leur résistance à froid



Remarque : tous les aciers ont perdu plus de 50 % de leur résistance à 550 C

Température θ (°C)	0	200	400	500	580	750
Acier lisse et acier HA naturel	1	1	0,95	0,73	0,42	0
Acier HA écroui	1	1	1	0,50	0,15	0
Acier pour précontrainte	1	0,95	0,515	0,30	0,20	0

(Valeurs retenues par les règles françaises FB.)

Conditions à respecter pour les dalles, les poteaux et les poutres afin d'assurer une résistance au feu donnée (extrait de la norme P 92-701)

Degré de résistance au feu					
1/2 h	1 h	1 h 30	2 h	3 h	4 h

① Dalle		Épaisseur minimale	h + e (en cm)	6	7	9	11	15	17,5
		Sans aciers sur appuis							
		$\frac{M_w + M_e}{2M_0} = 0$	u (en cm)	1	2	3	4	6	8
<p>On opère par interpolation linéaire pour u et $\frac{l_{sw} + l_{se}}{l}$ en fonction de la valeur de $\frac{M_w + M_0}{2M_0}$</p>		$\frac{l_{sw} + l_{se}}{l}$	0	0	0	0	0	0	
		Avec aciers sur appuis avec consoles							
		$\frac{M_w + M_e}{2M_0} \geq 0,5$	u (en cm)	1	1,5	2	2,5	3,5	4,5
		$\frac{l_{sw} + l_{se}}{l}$	0,25	0,3	0,4	20,5	0,55	0,6	

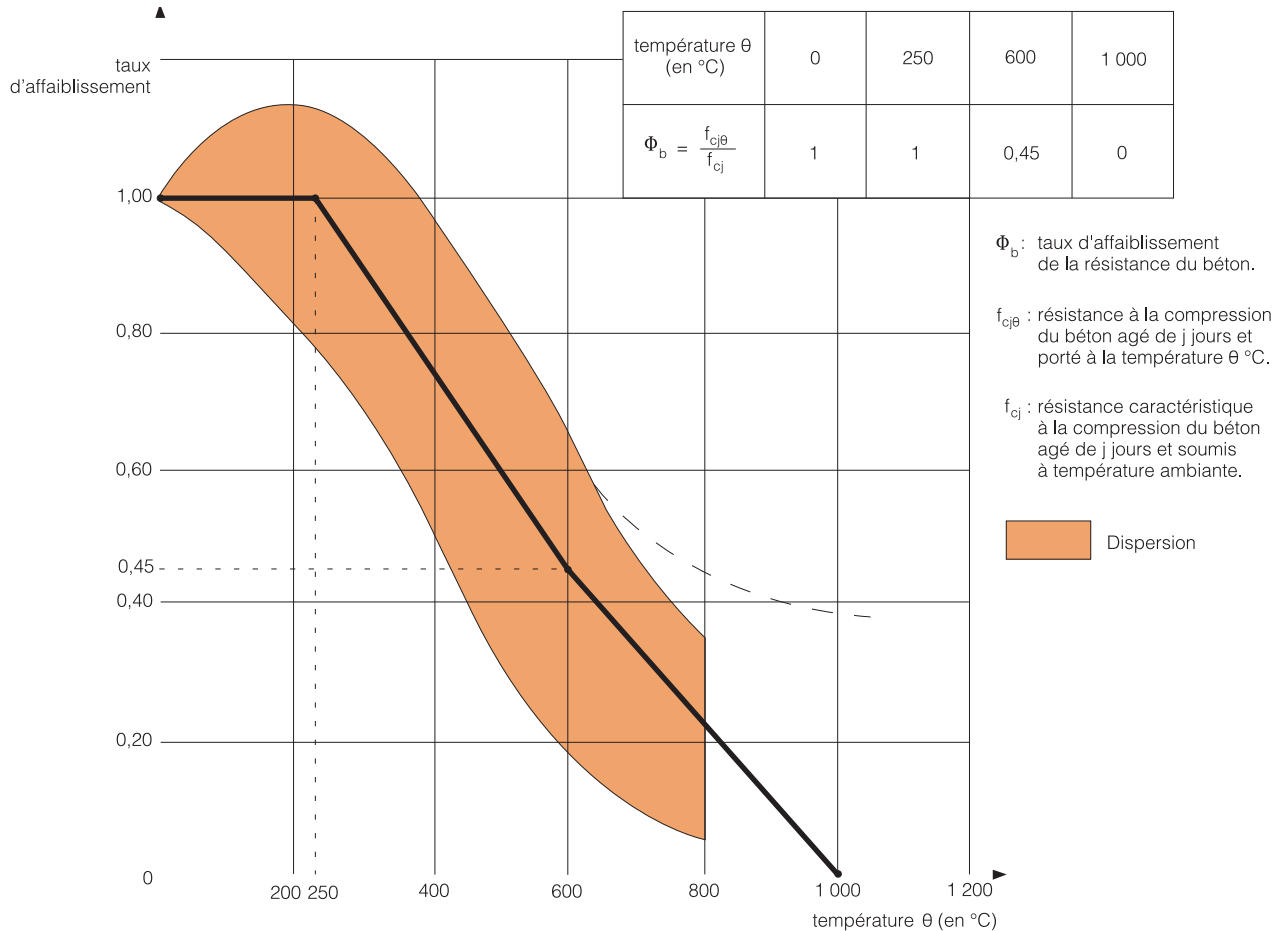
② Poteau		a	b	• carré	• rectangulaire	a minimum (en cm)	carré	15	20	24	30	36	45
<p>interpolation sur l'aire si $1 < \frac{b}{a} < 5$</p>						a minimum (en cm)	carré : une face exposée au feu	10	12	14	16	20	26
							rectangulaire	10	12	14	16	20	26

③ Poutres									
Épaisseur minimale (h ₂ + e) cm	Entraxe des poutrelles au plus égal à 2,5 m		5	6	8	10	14	16,5	
	Entraxe des poutrelles supérieur à 2,5 m		6	7	9	11	15	17,5	
	Poutres croisées avec un espacement maximal de 2,5 m dans chaque sens		4	5	7	9	13	15,5	
$\frac{M_w + M_e}{2M_0} = 0$	Poutres rectangulaires b minimal en cm		12	16	20	24	32	40	
	Poutres à talon b minimal en cm		16	20	24	32	40	50	
	b ₀ minimal en cm		8	10	12	14	16	18	
	h ₀ minimal en cm		5	8	12	20	32	50	
	Nombre minimal de lits inférieurs avec b minimal et avec un nombre minimal de barres par lit de :		2	2	2	3	3	4	
$\frac{M_w + M_e}{2M_0} \geq 0,5$	u (en cm) avec b supérieur à la plus grande des 2 valeurs 1 m ou 1,5 h ₁ et avec 10 barres par lit		2,5	4	5,5	6,5	8,0	9,0	
	$\frac{l_{sw} + l_{se}}{l}$		2	2	2	4	4	5	
	u (en cm) avec b supérieur à la plus grande des deux valeurs 1 m ou 1,5 h ₁ et avec 10 barres par lit		1	2	3	4	5	6	
	$\frac{l_{sw} + l_{se}}{l}$		0	0	0	0	0	0	
	u (en cm) avec b supérieur à la plus grande des deux valeurs 1 m ou 1,5 h ₁ et avec 10 barres par lit		1	1,5	2	2	3	4,5	
u _i (en cm)	$f_{ci} \leq 0,03 f_{ci}$ ou béton précontraint classes I et II si tout en cadres		1,5	2	néant	2,5	3	3	4,5
	0,03 f _{ci} ≤ f _{ci} ≤ 0,1 f _{ci} si 40 % au moins en étriers ou épingles		1,5	2	néant	2,5	3	3	3,5
	0,1 f _{ci} ≤ f _{ci} ≤ 0,15 f _{ci} il faut au moins 40 % en étriers et épingles		1,5	2	néant	2,5	3	3	3,5
			1,5	2	néant	2,5	3	3	3,5
			1,5	2	néant	2,5	3	3	3,5

h : épaisseur de la dalle (en cm).
e : épaisseur de la chape et de son revêtement (en cm).
M₀ : moment isostatique sous les charges permanentes et les charges variables.

M_w et M_e : moments de flexion équilibrés par les aciers sur appuis de longueur libre à l'intérieur de la travée considérée l_{sw} et l_{se}. À défaut de prescriptions différentes dans les documents particuliers du marché, ces moments sont plafonnés à la valeur du moment provoqué par les seules charges permanentes, dans le cas où il s'agit de moments de continuité isostatique (console).

Évolution de la résistance à la compression d'un béton courant en fonction de la température (norme P 92-701)



Pour l'acier, on retiendra, d'après les données de la norme P 92-701 « Règles de calcul. Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton (changement de statut du DTU, règle de calcul FB 1987) », que sa résistance à la température décroît à partir de 150 à 200 °C selon les nuances pour devenir nulle à 750 °C. Le tableau ci-dessus donne ces résistances à la température en pourcentages de leur résistance à froid pour trois nuances d'aciers courants. On constate que les aciers pour précontrainte ayant subi un traitement thermique lors de leur fabrication sont plus sensibles à la chaleur que les nuances utilisées pour le béton armé.

En conséquence, il est nécessaire de concevoir l'ouvrage et ses éléments de façon que la température atteinte par les armatures lors d'un incendie reste modérée (de 150 à 200 °C) et conserve à l'acier une résistance suffisante pour maintenir la stabilité pendant le temps requis. De même, il est nécessaire que la section de béton non altérée soit suffisante pour absorber les contraintes développées à l'état ultime de rupture. On adapte alors

l'épaisseur de béton d'enrobage des aciers et l'épaisseur des pièces, en tenant compte de la géométrie des éléments soumis au feu, du principe d'armature et de la nuance d'acier.

La norme P 92-701 définit les conditions à respecter dans ces domaines pour assurer une résistance au feu donnée. Le tableau ci-dessus fournit une synthèse de ces conditions. Par exemple, pour assurer une résistance au feu de deux heures, le recouvrement varie de 2,5 à 4 cm et de 2 à 4 cm, respectivement pour une dalle et pour une poutre en béton armé. Il est de 3 cm pour une poutre en béton précontraint. Pour un même degré de résistance au feu, l'épaisseur minimale des dalles est de 11 cm, celle des poutres rectangulaires de 24 cm. Comme le béton soumis à température va s'échauffer, sa dilatation doit être prise en compte dans la conception des ouvrages et éléments d'ouvrage qui subiront la déformation correspondante. Avec un coefficient de dilatation moyen du béton de 1.10^{-5} , la dilatation d'un ouvrage est de l'ordre de 0,5 % à 500 °C.

Crédit photographique

Y. Brunel [10B-15-16-17D-17G-23-28H-28B],
Eurobéton [19], G. Maucuit-Lecomte [10H-37],
M. Moch [18D-18G],
Photothèque des Sapeurs Pompiers de Paris [6],
X, tous droits réservés.

Mise en page et réalisation

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

Impression
Chirat



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