

4.12 Résistance au feu du béton cellulaire

Le béton cellulaire offre une résistance au feu excellente. Il ne contribue pas à la propagation du feu et ne développe pas de fumées toxiques pendant l'incendie. Ces propriétés physiques en font un des matériaux les plus performants pour la construction des murs coupe-feu et des murs pare-feu.

4.12.1 Classification de la résistance au feu

Le béton cellulaire appartient à la classe Européenne A1 "matériaux non combustibles".

Les Euroclasses de résistance au feu se réfèrent à des scénarios de feu et des critères de performances.

Les performances sont exprimées au moyen de critères principaux de classification:

- a) **Stabilité (R)** : indique le temps pendant lequel l'élément de construction assume sa fonction portante (stabilité, déformations...).
- b) **Étanchéité aux flammes (E)** : le matériau doit rester étanche aux flammes, aux fumées et gaz chauds qui pourraient propager l'incendie aux locaux voisins.
- c) **Isolation thermique (I)** : doit être suffisante pour que le matériau et les revêtements qui se trouvent du côté du mur opposé au feu ne s'enflamment pas spontanément par l'augmentation de température à la surface. L'augmentation moyenne de la température doit être inférieure à 140°C, et 180°C localement.

Un mur qui satisfait aux 3 critères pendant 180 minutes aura ainsi le classement REI 180.



Exemple d'incendie dans un bâtiment de stockage, compartimenté par des murs coupe-feu en béton cellulaire.



Les ancrages de fusion ont cédé du côté exposé au feu et la structure métallique a pu s'effondrer sans emporter le mur coupe-feu.



De l'autre côté du mur coupe-feu les ancrages de fusion sont intacts et le mur coupe-feu a rempli ses fonctions.

4.1.2.2 Résistance au feu des parois en béton cellulaire

a) Murs en blocs collés

La résistance au feu minimale des murs non enduits en blocs de béton cellulaire est spécifiée dans la norme NBN B 21-002.

Des essais officiels réalisés sur des blocs de béton cellulaire placés au mortier colle donnent les valeurs suivantes :

Épaisseur	Résistance au feu	Remarque
100 mm	EI 180	Mur non porteur
200 mm	REI 240	Mur porteur
240 mm	REI 360	Mur porteur

b) Murs en dalles armées

Épaisseur	Résistance au feu
150 mm	EI 360
200 mm	EI 360

Remarque : Ces dalles sont fixées à une structure portante. Il va de soi que ces valeurs de résistance au feu sont valables tant que la stabilité de la structure portante n'est pas mise en défaut (voir ci-après les principes constructifs).

On constate que ces valeurs de résistance au feu sont excellentes, même pour des faibles épaisseurs, et que les plus hautes valeurs de résistance au feu (EI 360) sont déjà atteintes avec un mur de 150 mm d'épaisseur. C'est pour cette raison que la plupart des installations destinées à tester les propriétés de résistance au feu des autres matériaux sont construites en béton cellulaire.

c) Dalles de toiture et de plancher

La résistance au feu des dalles de toiture et de plancher est fonction de la portée, de la surcharge ainsi que de l'enrobage de l'armature inférieure. Une dalle armée perd sa résistance quand l'armature atteint la température critique de 550°C. Pour éviter cela on peut augmenter l'enrobage de l'armature principale ou utiliser un béton isolant pour "retarder" la transmission de chaleur en profondeur. Comme le béton cellulaire a une valeur λ très basse, le transfert de chaleur sera réduit et l'enrobage beaucoup plus performant qu'en cas de béton lourd.

Dans ce sens on peut se référer à la norme DIN 4102 Teil 4 qui donne la résistance au feu pour les dalles en béton cellulaire en fonction de l'enrobage de l'armature principale.

Résistance au feu	REI 30	REI 60	REI 120	REI 180
Enrobage u minimum [mm]*	12	20	40	55

*u = distance entre la face inférieure de la dalle et l'axe des barres de l'armature principale.

4.1.2.3 Comportement du béton cellulaire en cas d'incendie

Le béton cellulaire combine deux qualités essentielles qui lui confèrent un excellent comportement au feu : une réaction au feu nulle, et une très bonne résistance au feu.

a) Réaction au feu

La réaction au feu d'un matériau de construction est l'élément que le matériau apporte au maintien de la combustion et à son développement.

Le béton cellulaire est ininflammable et n'apporte aucune contribution à la combustion. En cas d'incendie, le béton cellulaire n'émet donc aucune fumée et ne contribue pas à la propagation du feu.

b) Résistance au feu

La résistance au feu des éléments de construction est la durée pendant laquelle les éléments de la construction continuent à remplir le rôle qui leur est dévolu, malgré l'action d'un incendie. La paroi doit rester stable, être étanche aux flammes et être isolante thermiquement.

Ce n'est pas parce qu'un matériau est incombustible, qu'il est résistant au feu. Par exemple l'asbeste-ciment est incombustible mais "éclate" en cas d'incendie à une température basse, à cause des tensions thermiques internes, et ne peut ainsi éviter la propagation du feu.

L'exposition prolongée du béton cellulaire à une forte chaleur en cas d'incendie n'influence pratiquement pas la structure du matériau. Aucune déformation ne se produit qui puisse donner lieu, à son tour, à une propagation des flammes, à la formation de fumée ou à un apport d'oxygène au foyer de l'incendie depuis les espaces adjacents.

La progression de température dans un mur en béton cellulaire soumis à un incendie est représentée sur la figure A. La figure B représente la progression de température pour un mur en béton armé soumis aux mêmes conditions. Grâce à sa structure cellulaire isolante, la température interne progresse moins vite dans le mur en béton cellulaire que dans le mur en béton. Ainsi, après 180 minutes, la température de la zone intérieure située à 120 mm de la partie exposée au feu a augmenté de 120 °C pour le béton cellulaire, et de 200 °C pour le béton armé.

Après 1 h d'exposition à l'incendie, la température à 20 mm du bord exposé est de 380 °C pour le béton cellulaire. Pour le béton armé, après 1 h, la température à 20 mm du bord est de 500 °C. L'enrobage des armatures principales éventuelles devra donc être plus important. D'une façon générale, pour augmenter la résistance au feu de dalles armées portantes, il faut augmenter l'enrobage, en fonction de l'évolution des températures dans le matériau (voir fig. A).

La figure C montre l'influence de la chaleur sur la résistance à la compression du béton cellulaire. Celle-ci augmente en cas de hausse de température pour culminer à 400°C, température à laquelle la tobermorite se transforme en wollastonite. Ensuite, elle diminue pour retomber au niveau minimum à 950°C environ.

Fig. A Béton cellulaire d'épaisseur=240 mm densité 600 kg/m³ (DIN 4102) et [23]

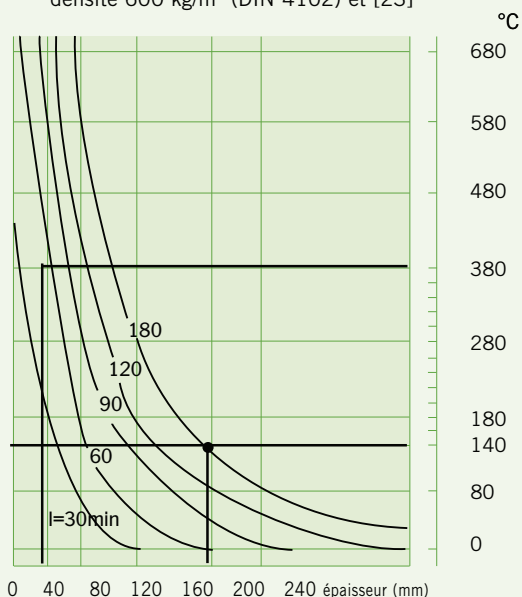


Fig. B Béton armé épaisseur=140 mm densité 2450kg/m³ (DIN 4102) et [23]

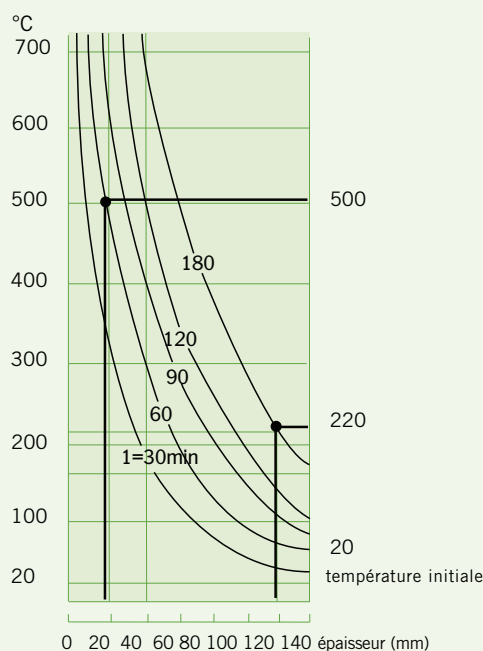
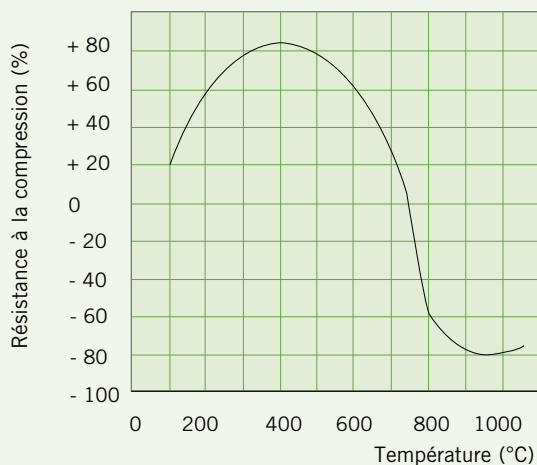


Fig. C [23]



4.12.4 Le compartimentage et la résistance au feu des parois des bâtiments

La division des bâtiments en différents compartiments et la présence d'évacuation de secours sont deux règles fondamentales de la protection incendie que l'on retrouve dans tous les textes réglementaires, aussi bien au niveau fédéral, qu'au niveau des communautés et régions. Ces deux règles de base répondent à trois objectifs qui sont repris dans chacun de ces textes réglementaires, à savoir :

- **1er objectif : Garantir la sécurité des personnes dans le bâtiment.**

Laisser la possibilité aux personnes, en cas d'incendie, de quitter le bâtiment par un chemin sûr et par leur propre moyen ou de se réfugier dans un compartiment à l'abri de l'incendie. Ceci dépend de la vitesse avec laquelle le feu se propage dans l'habitation.

- **2 eme objectif : Ralentir le développement de l'incendie, et empêcher sa propagation dans le bâtiment.**

Quand la propagation du feu (fumée et flammes) peut être limitée, il est plus facile de mettre le personnel en sécurité et de lutter contre le feu.

- **3 eme objectif : Faciliter l'intervention des services de secours.**

L'Arrêté Royal du 7 juillet 1994 fixe les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire. Ces normes de base représentent un minimum à respecter pour toutes nouvelles constructions quelles que soient leurs destinations ; c'est à dire, la Région bruxelloise peut, par exemple, prendre un arrêté fixant, en matière de prévention contre l'incendie, les conditions auxquelles doivent répondre les hôtels à construire. Mais ces conditions doivent être les mêmes que celles reprises dans les normes de base, plus les prescriptions spécifiques aux hôtels.

Les exigences concernant le compartimentage et les évacuations de secours dépendent de la hauteur du bâtiment et de la destination de celui-ci. Ainsi, on définit **la hauteur du bâtiment H** comme la distance entre le niveau fini du plancher de l'étage le plus élevé et le niveau le plus bas des voies entourant le bâtiment et utilisables par les véhicules de services d'incendie.

- Bâtiments élevés (BE) : $h > 25 \text{ m}$
- Bâtiments moyens (BM) : $10 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$
- Bâtiments bas (BB) : $h < 10 \text{ m}$

On définit un **compartiment** comme une partie d'un bâtiment éventuellement divisée en locaux et délimitée par des parois dont la fonction est d'empêcher, pendant une durée déterminée, la propagation d'un incendie au(x) compartiment(s) contigu(s).

L'Arrêté Royal définit la superficie maximum des compartiments, en fonction de la destination du bâtiment, et de la hauteur de celui-ci. Dans la plupart des cas, la superficie maximale autorisée est de **2500 m²**. **La résistance au feu des parois entre compartiments doit être de EI 120 pour BE, et de EI 60 pour BM et BB.** Les éléments structuraux tels les colonnes, poutres, planchers et murs porteurs doivent avoir au moins la même résistance au feu que les parois du compartiment.

Le tableau à la page suivante est un résumé non exhaustif de la résistance au feu minimale des parois imposée par l'Arrêté Royal du 7 juillet 1994.

On remarque que dans tous les cas de figure, le béton cellulaire offre une résistance suffisante, et même bien meilleure (voir § 4.12.2) que les valeurs de résistance au feu imposées par l'A.R. Construire en béton cellulaire garantit une sécurité de tout premier plan en cas d'incendie, pour autant que les principes constructifs imposés (compartimentages, chemins d'évacuation...) soient appliqués.

L'annexe 6 de l'Arrêté Royal tient compte des **bâtiments industriels**. Cet annexe 6 ne décrit pas seulement les murs coupe-feu intérieurs (compartimentations afin d'éviter la propagation du feu), mais aussi des murs extérieurs qui doivent également répondre à des exigences de résistance au feu.

Plus d'informations à ce sujet : voir l'Arrêté Royal

Exigences de résistance au feu [Ei]	Bâtiment élevé BE	Bâtiment moyen BM	Bâtiment bas BB
Parois entre compartiments	120	60	60 (> 1 niveau)
Éléments structuraux, cages d'escaliers	120	60 au-dessus de Ei 120 en dessous de Ei	60 (>1 niveau)
Toiture	120	60	30
Façade	60	60	
Paroi entre bâtiments contigus	240	120	60
Local Technique	120	60	60
Locaux de transformation d'électricité	120	120	60
Cuisines collectives, local à ordure	120	60	60
Chaufferie et dépendance	120	120	
Paroi limitant une salle (>500 personnes)	120	60	60
Paroi entre ensemble commercial et reste du bâtiment	120	60	60
Parois locaux archives	60	60	60
Parois verticales intérieures de locaux à occupation nocturne	60	60	

A.R. du 7 juillet 1994

Ei = Le plus bas niveau d'évacuation

On distingue trois types de principe constructif pour les murs coupe-feu :

- 1. Le mur indépendant.** Il s'agit d'un mur solide et stable en béton cellulaire, indépendant de part et d'autre du bâtiment. Dans ce cas, peu importe le côté du mur exposé à l'incendie ; la construction est conçue de manière à pouvoir résister relativement longtemps à n'importe quel incendie.
- 2. La paroi couplée.** Dans ce cas, la paroi en béton cellulaire (dalles de mur) est couplée à la structure portante du bâtiment. Comme nous le verrons plus loin, le couplage peut se faire de différentes manières (murs doubles, mur simple, structure métallique, structure béton...). C'est la solution la plus utilisée en bâtiment industriel pour réaliser des murs pare-feu.
- 3. La construction homogène.** Tout le bâtiment est construit en béton cellulaire, y compris la structure portante. Ce système est utilisé pour les habitations individuelles, les appartements, ainsi que pour les bâtiments non industriels (bureaux, garages, petites surfaces commerciales...).

4.12.5.1 Combinaison mur en béton cellulaire / structure en acier

En Belgique, les structures portantes en acier sont fréquemment utilisées : Leur prix constitue sans aucun doute un facteur important de popularité. L'acier est un

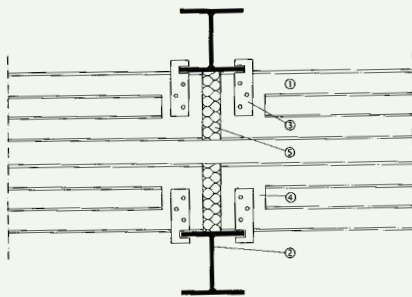
excellent matériau de construction. Toutefois, en cas d'incendie, il présente certains inconvénients, dont le principal est de ramollir au fur et à mesure que la température augmente. Dans le cas de structure portante, la situation devient critique dès que la température avoisine 400°C. A 600°C la structure ne possède plus que 40% de sa rigidité originale. Une telle température est vite atteinte en cas d'incendie, où généralement, la température ne cesse d'augmenter pour atteindre des niveaux oscillants entre 800 et 1200°C. Comme la construction en acier s'affaisse (lentement au début, puis de plus en plus rapidement au fur et à mesure que la température augmente), elle met en danger le mur qui y est ancré. Le mur est entraîné dans le mouvement dû à l'instabilité de la structure portante, et la toiture s'effondre, entraînant la ruine du bâtiment et l'extension de l'incendie aux autres compartiments.

Pour éviter ce scénario, les fabricants de béton cellulaire ont mis au point différents systèmes :

a) On peut construire deux murs pare-feu indépendants, fixés chacun à leur propre structure portante en acier. Ainsi, si un bâtiment s'écroule suite à un incendie, le feu ne peut se propager au bâtiment contigu, la structure de celui-ci étant indépendante reste intacte et parfaitement protégée du feu.

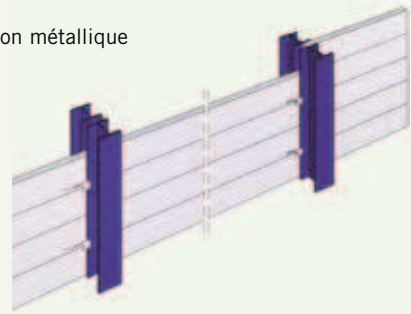
b) On peut construire un mur pare-feu fixé à la structure métallique à l'aide d'ancrages de fusion. Ces ancrages ont la particularité de fondre dès qu'une certaine température est atteinte. Ainsi, au moment où la structure métallique commence à se déformer sous l'effet d'un incendie, les ancrages de fusion de la structure où se situe l'incendie lâchent, et la structure portante n'emporte pas le mur pare-feu dans sa chute. Celui-ci reste fixé à la structure métallique placée de l'autre côté.

Construction coupe-feu avec double mur

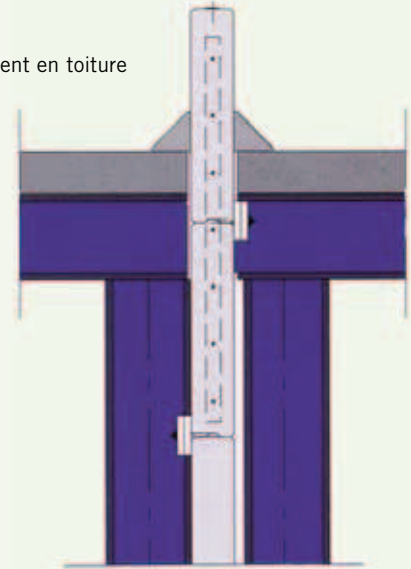


Construction coupe-feu avec ancrage de fusion

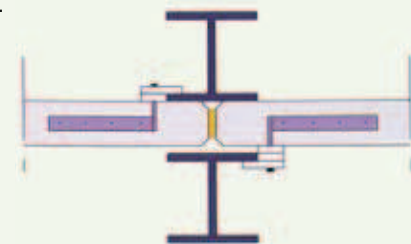
Construction métallique

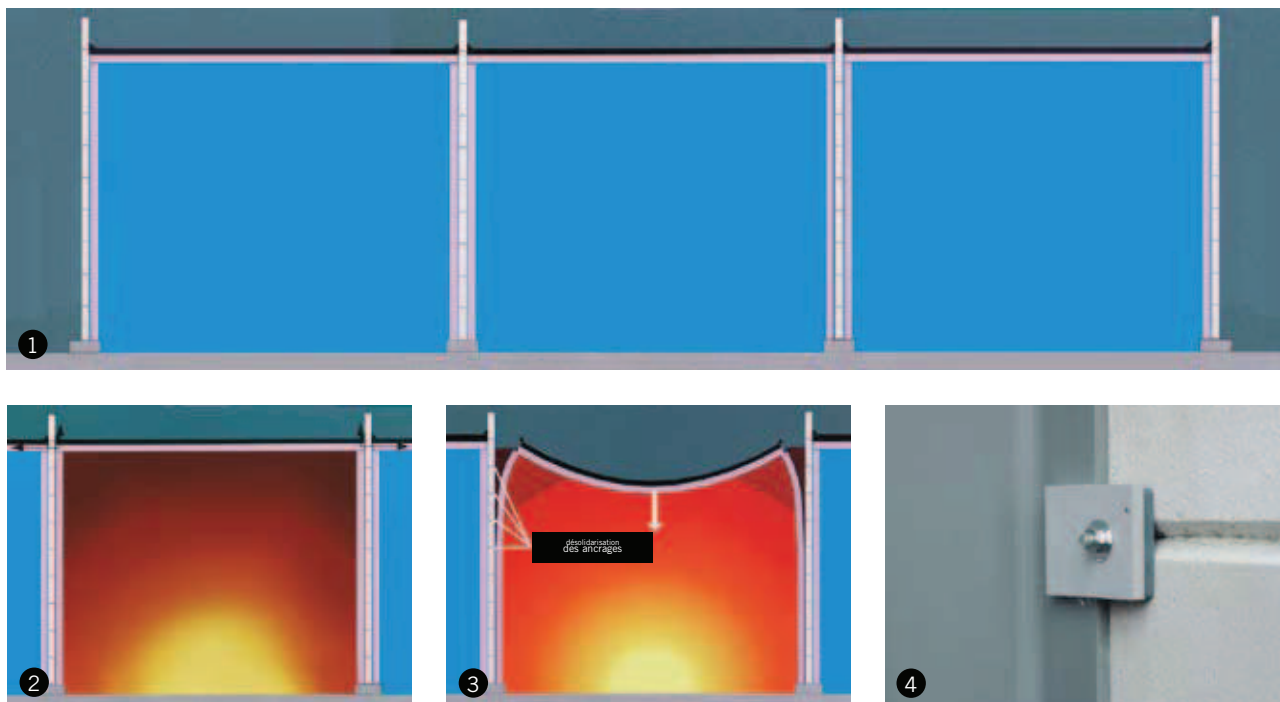


Dépassement en toiture



Fixation aux colonnes:
Mur coupe-feu combiné avec une double construction métallique.





principe de murs coupe-feu avec ancrage de fusion

① La mesure la plus efficace en matière de prévention incendie consiste à compartimenter le bâtiment industriel en de plus petits espaces séparés par des murs coupe-feu.

De cette manière, on évite que l'incendie ne se propage dans tout le bâtiment industriel avec tous les dommages économiques qui en découlent. Le dommage éventuel se limite au compartiment dans lequel l'incendie s'est déclaré.

Comme montré dans la figure ci-contre, on peut, par exemple, au moyen de deux murs coupe-feu, diviser un bâtiment industriel en 3 compartiments.

② Les compartiments sont séparés au moyen de murs coupe-feu qui empêchent la propagation de l'incendie dans les autres parties du bâtiment.

Le système utilisé prévoit une structure métallique par compartiment avec des cloisons coupe-feu en béton cellulaire fixées aux colonnes de la structure de chaque côté.

Des murs coupe-feu en béton cellulaire de 15 ou 20 cm garantissent une résistance au feu de la classe la plus élevée, soit EI 360.

L'ancrage des dalles de bardage doit être réalisé alternativement à chacune des deux structures portantes, au moyen d'ancrages de fusion.

③ Lorsque le feu se déclare dans un compartiment, les ancrages de fusion du côté incendie vont déjà fondre par une température de 168°C et provoquer la désolidarisation des colonnes du côté incendie.

Etant donné l'excellente isolation thermique du béton cellulaire, la température, de l'autre côté du mur, va à peine monter et les ancrages resteront intacts. Le mur coupe-feu en béton cellulaire reste soutenu par la structure métallique de l'autre côté du feu.

Au moment où la structure métallique s'écroule du côté de l'incendie, elle n'est plus reliée au mur en béton cellulaire et elle peut s'effondrer sans entraîner le mur. Le mur en béton cellulaire reste ancré à la structure métallique de l'autre hall et protège celui-ci contre le feu.

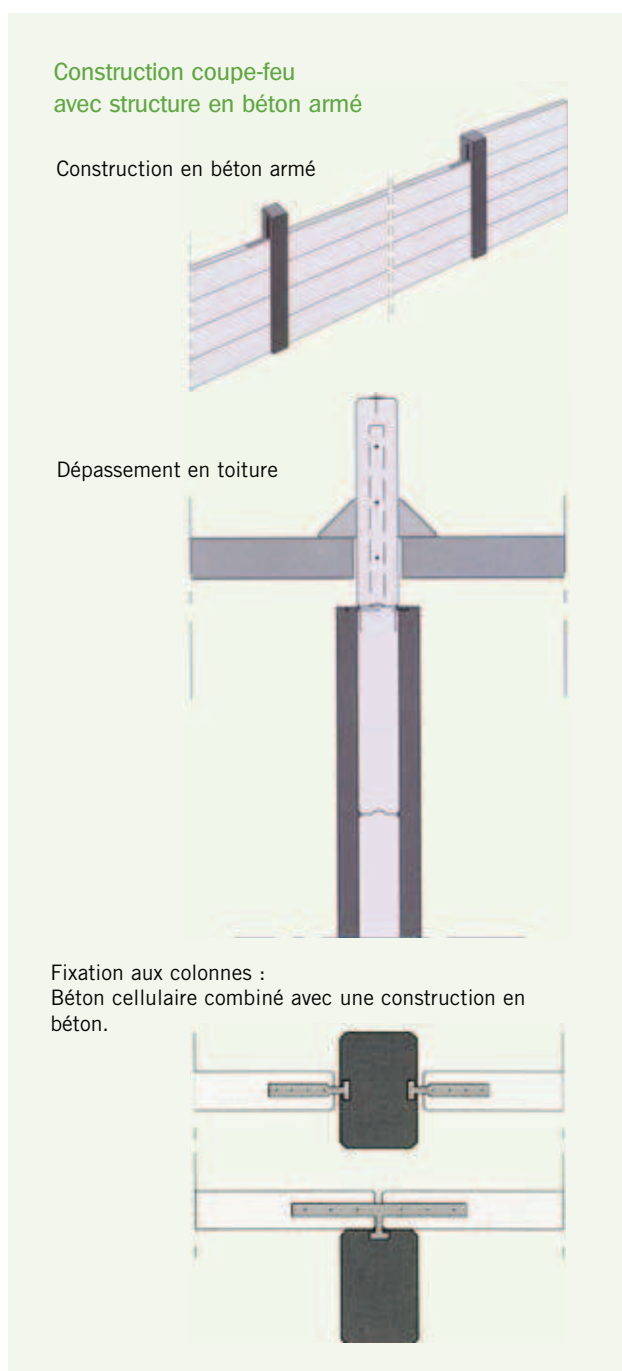
④ Détail de l'ancrage de fusion.

Le mur coupe-feu est fixé aux colonnes métalliques au moyen des ancrages de fusion.

Ces ancrages sont alternativement fixés aux colonnes métalliques se trouvant de chaque côté du mur coupe-feu.

4.12.5.2 Combinaison mur en béton cellulaire / structure en béton armé

Dans ce cas également, la propriété ignifuge du mur est déterminée dans une large mesure par celle des colonnes et des poutres en béton. L'enrobage de l'armature des colonnes et des poutres joue ici un rôle très important. Actuellement, on utilise beaucoup la co-lonne en béton en forme de H dans laquelle sont emboîtés les éléments armés en béton cellulaire.



4.12.5.3 Joints coupe-feu

Pour obtenir une étanchéité aux flammes et aux gaz, on applique sur les joints horizontaux des dalles de murs, soit un compriband (EI 180), soit un mortier colle pour béton cellulaire (EI 360).

Les joints verticaux entre dalles de béton cellulaire exigent un traitement spécial. Après avoir été comblés avec de la laine minérale (densité : 30 kg/m³ épaisseur initiale : 50 mm) soigneusement comprimée, dans toute leur profondeur, ils seront fermés à l'aide d'un joint souple coupe-feu d'une épaisseur minimum de 20 mm. Un tel assemblage peut offrir une résistance au feu EI 240.

4.12.5.4 Un exemple concret

La nuit du dimanche 5 janvier 1997, un incendie se déclare dans une société d'expédition. L'origine de l'incendie est un court-circuit dans l'un des chariots élévateurs qui se trouve dans l'entrepôt. En l'espace de quelques minutes, le bâtiment où sont stockés des guides touristiques est dévoré par les flammes. Malgré leur intervention rapide sur place, les pompiers doivent attendre une heure avant de pouvoir commencer à éteindre l'incendie. En effet, dehors il gèle à -15°C, si bien que l'eau met longtemps avant de jaillir des lances d'incendie.

Grâce à la construction ignifuge, cet incendie ne s'est pas transformé en catastrophe pour l'entreprise. L'entrepôt était en fait divisé en deux compartiments séparés par une paroi pare-feu en béton cellulaire à ancrages de fusion qui a empêché l'incendie de gagner les autres parties du bâtiment. Pendant l'opération, la paroi pare-feu en béton cellulaire a résisté à un test pratique de 120 heures. Il est pratiquement impossible d'éteindre de gros paquets de papier. On ne peut arroser que les couches extérieures, l'enlever, puis éteindre la couche suivante, et répéter ces opérations jusqu'à ce que le paquet soit complètement éteint. Cette tâche fastidieuse a duré 5 jours. Mais entre-temps, les activités de l'entreprise battaient déjà leur plein. Deux jours après l'incendie, le personnel de bureau reprenait déjà du service du côté non endommagé de la paroi pare-feu. Et 6 semaines plus tard, l'entreprise tournait à plein régime. Les dégâts ont été relativement limités grâce à l'extrême résistance de la paroi pare-feu en béton cellulaire à ancrages de fusion. La reconstruction de la partie endommagée a été réalisée dans des délais rapides et sans frais excessifs. Un argument que les compagnies d'assurances honorent par une prime d'assurance moins élevée.

