

Résistance au feu de constructions et systèmes porteurs en béton et acier

Renzo Bianchi, Bianchi Conseils S.à.r.l., Berthoud

Généralités

Les critères ci-après sont déterminants pour la fixation de la résistance au feu de systèmes porteurs, notamment pour les constructions en béton et en acier :

- Type de construction
- Situation du lieu
- Mise en danger du voisinage
- Nombre de niveaux
- Taux d'occupation par des personnes
- Charge thermique, comportement des matériaux et danger d'enfumage
- Danger d'ignition
- Possibilité de lutte contre le feu par les sapeurs-pompiers

Systèmes porteurs en béton

En cas d'incendie, le béton armé se comporte relativement bien. Jusqu'à des températures de 150°C, l'acier et le béton se dilatent dans la même mesure. A partir de cette température, la dilatation du ferrailage est notablement plus importante. Il s'ensuit le phénomène connu de l'écrasement et de l'éclatement du béton. A partir de 450°C, le ferrailage perd sa rigidité.

Du point de vue de la résistance au feu, le dimensionnement des systèmes porteurs en béton dépend des dimensions des éléments (sections) et du recouvrement par le béton. Le recouvrement par le béton est la distance entre la surface du béton et le ferrailage. Plus le recouvrement est important, plus le temps de protection du ferrailage contre l'augmentation de la température est long.

Dans la norme SIA 262 «Construction en béton» et dans le Répertoire suisse de la protection incendie AEAI, au chapitre «Parties de construction admises sans certificat d'examen», l'interdépendance entre la résistance au feu et le recouvrement du ferrailage est fixée comme suit :

Pour	60 (icb)	20 mm
	R 90	30 mm
	R 180	50 mm plus armature complémentaire

La norme SIA exige un recouvrement minimal par le béton de 20 mm, pour des raisons de construction (protection contre la corrosion). Cela signifie, si les dimensions sont respectées, que les constructions en béton offrent déjà une résistance R 60 (icb).

Selon SIA, des épaisseurs moindres de recouvrement par le béton sont admises pour les éléments en béton industriels préfabriqués. Indépendamment de cela, les valeurs mentionnées plus haut doivent être respectées pour la protection incendie.

Systèmes porteurs en acier

L'acier est le produit du feu et du minerai de fer fondu. Lorsqu'il passe de l'état liquide (en fusion) à l'état solide, l'acier devient un excellent élément de construction. Lorsqu'on l'expose à nouveau à des températures élevées, il se déforme et perd sa rigidité.

La perte de rigidité de l'acier va croissant avec l'augmentation de la température :

à 300 ⁰ C	Commencement de la déformation
à 450 ⁰ C	La résistance à la sollicitation de traction se réduit à 50 %
à 600 ⁰ C	La résistance à la sollicitation de traction se réduit à 16 %
> 600 ⁰ C	Déformation totale

Dans les constructions en acier, la dilatation due à la chaleur joue un rôle important en cas d'incendie. Comme les températures dépassent 600 degrés, la dilatation en longueur est particulièrement importante. L'acier se dilate d'environ 1 mm par mètre et par plage de 100⁰ Kelvin, c'est pourquoi les poutres en acier doivent être interrompues aux murs coupe-feu; il faut en outre prévoir suffisamment de jeu en fonction de la dilatation.

Pour garantir la capacité porteuse voulue des constructions en acier également en cas d'incendie, les éléments doivent être surdimensionnés sur le plan statique ou ils doivent être protégés par des revêtements de protection dont il existe différents types. Le surdimensionnement est effectué sur la base de calculs concernant la statique. Les tensions sont maintenues suffisamment basses pour que la capacité de résistance au feu soit sauvegardée pour 30 minutes. Des surdimensionnements plus importants sont trop onéreux pour pouvoir être envisagés.

Si une construction de plusieurs étages est réalisée en acier, les éléments en acier comme les supports, les étais, les contreventements, etc. doivent être revêtus, recouverts de crépi ou apprêtés au moyen d'un enduit intumescent pour en améliorer la résistance au feu.

Les paramètres suivants sont déterminants pour fixer la résistance au feu :

- Facteur U/A du profilé (U = circonférence, A = surface de la section du profil en acier)
- Epaisseur de la couche du crépi ou de l'apprêt
- Epaisseur des plaques de revêtement (varie selon le produit)

Types de revêtements d'éléments en acier	Résistance au feu					Répertoire de protection incendie AEAI, Groupe de produits
	inc	R 30	R 60	R 90	R > 90 à 180	
Sans revêtement						
suffisamment dimensionné	x					
surdimensionné	x	x				
Avec revêtement						
Crépis de protection incendie selon produits		x	x	x	x	237
Peinture intumescente*		x	x			238
Revêtement indépendant du facteur U/A		x	x	x		Tableaux des résistances au feu admis sans examen
Revêtement de protection incendie dépendent du facteur U/A		x	x	x	x	232
* Utilisable seulement avec l'autorisation de la police du feu						

Le tableau donne la vue d'ensemble sur les genres possibles de revêtements et leur résistance au feu

Le Répertoire suisse de la protection incendie AEAI renseigne sur les produits homologués, et les tableaux de dimensions permettent de déterminer la résistance au feu. Cette dernière dépend du facteur U/A et de l'épaisseur des plaques de recouvrement, respectivement de l'épaisseur de l'enduit intumescent.

Pour les revêtements, il y a deux possibilités de détermination de la résistance au feu d'éléments en acier :

- a) Le profilé en acier choisi est revêtu d'une plaque indépendamment de la valeur U/A. La résistance au feu ressort des tableaux spécifiques au produit.
- b) La résistance au feu du profilé en acier est calculée et fixée en combinant le facteur U/A et l'épaisseur du revêtement. D'autres tableaux sont utilisés à cet effet. Des différences d'épaisseur sont possibles.

La variante a) est utilisée s'il s'agit de supports et d'étais isolés. La variante b) s'applique pour des projets plus conséquents. De cette manière, la construction en acier est plus économique.

Attention : vu les nouvelles possibilités offertes à la construction en bois sur le plan technique de la protection incendie, on pourrait être tenté de revêtir des constructions en acier de planches en bois d'une épaisseur suffisante. Une telle démarche n'est en aucun cas autorisée. La raison en est que le bois se déforme complètement différemment d'un matériau de revêtement incombustible.

Construction en acier et en béton armé

Associer l'acier au béton armé est une solution très économique lorsqu'il faut réaliser de grandes portées ou si l'on a affaire à des charges utiles élevées. Il est possible de tirer pleinement parti des avantages de ces deux matériaux de construction : la construction est conçue pour que le béton supporte la pression, et l'acier la traction.

Le calcul de tels systèmes intégrant de l'acier et du béton armé doit toujours être confié à un ingénieur civil. Ce dernier doit également fournir la preuve que l'exigence de résistance au feu est respectée. Les méthodes de calcul et les tableaux du Centre suisse de la construction métallique SZS, à Zurich, sont un soutien précieux.

Certaines constructions mixtes simples peuvent être utilisées sans justificatifs spéciaux avec une résistance au feu R 30 (icb).

Les tubes d'acier remplis de béton atteignent R 30 (icb) s'ils sont dimensionnés de manière à correspondre aux systèmes porteurs en béton. Pour garantir la résistance pendant 30 minutes, les tubes en acier doivent être perforés dans leur partie supérieure. Ces ouvertures servent à la décompression en permettant à la vapeur d'eau de s'échapper. Le béton contient d'importants volumes d'eau. Sous l'effet de la chaleur, cette eau se vaporise, créant une forte pression à l'intérieur du tube. En l'absence de possibilités de décompression, l'acier cède et l'effondrement est programmé.

Ferraillage collé sur le béton

Une armature apposée subséquentement en surface, par exemple pour augmenter la charge utile ou améliorer la sécurité parasismique d'un bâtiment, est traitée exactement de la même manière que la construction combinant l'acier et le béton armé.

La résistance au feu requise du système porteur doit être garantie aussi pour ce système. Le problème réside dans l'encollage puisque la colle perd son adhérence quand la température dépasse 90⁰ C. L'acier cesse alors de supporter des contraintes. Il doit être prouvé que la sécurité et la résistance sont garanties en cas d'incendie.

Peintures intumescents

Depuis l'entrée en vigueur des nouvelles prescriptions suisses de protection incendie AEAI, en 2005, il est permis de réaliser des constructions en acier avec une résistance au feu jusqu'à 60 minutes aussi en utilisant des revêtements intumescents. Cette ouverture offre à la branche de l'acier la possibilité de réaliser des constructions jusqu'à la limite des bâtiments élevés.

Effet de la peinture intumescente

La couche intumescente se compose de solvants (eau), de liants, de pigments, d'agents de masse et d'additifs. Les agents de masse sont des substances génératrices de carbone, de l'acide phosphorique et des substances génératrices de gaz. L'acide phosphorique réagit comme starter à partir de 120⁰ C, le générateur de carbone développe de la mousse, et les substances génératrices de gaz causent une augmentation de volume. Sous l'effet de la chaleur, l'apprêt mousse, et cette mousse constitue une couche solide et compacte protégeant contre la chaleur. Grâce à cette mousse, l'acier exposé à l'effet du feu n'atteint la température à laquelle il perd sa résistance (env. 500⁰ C) qu'après 30 ou 60 minutes, c'est-à-dire avec retardement. Lorsqu'elle mousse, la couche voit son volume augmenter de 50 à 80 fois par rapport à l'état sec, ce qui correspond approximativement à une épaisseur de mousse de 3 à 8 cm.

D'importantes mesures doivent être prises pour que la sécurité du système porteur soit garantie avant et après l'éventuelle exposition à un incendie, pendant la phase de construction et pendant toute la durée d'utilisation.

Phase de construction

Les contrôles pour l'assurance de la qualité seront effectués en fonction de la décision de l'ingénieur et du fabricant d'apposer l'apprêt intumescent sur la structure en acier en usine ou sur le chantier, et d'apposer deux ou trois couches.

Période d'utilisation

L'entretien de l'apprêt intumescent doit être garanti pendant toute la durée d'utilisation de la construction. Des mesures doivent être prises immédiatement si l'apprêt est endommagé ainsi qu'en cas d'adaptations ultérieures des éléments en acier. Les modifications de nature esthétique (couleur) doivent être réalisées avec des peintures intumescentes compatibles.

Applicateurs

Le personnel des entreprises qui appliquent les revêtements intumescents doit avoir suivi la formation du SZS ; l'entreprise doit disposer des connaissances spécifiques de gestion de la qualité. Le SZS a créé des formules à cet effet. Elles sont disponibles sur le site Internet www.szs.ch. Un exemplaire de chaque est annexé.

Pose des apprêts intumescents

L'utilisation d'apprêts intumescents sur des constructions en acier nécessite l'assentiment de l'autorité de la protection incendie compétente. L'application délicate, lors de laquelle il faut tenir compte d'un grand nombre de facteurs (température et nature du fonds, humidité ambiante, pose de couches d'une épaisseur irrégulière), doit pouvoir être surveillée par l'autorité de la protection incendie. La note explicative de protection incendie «Peintures intumescentes», édition 2002, décrit les restrictions à l'application, le déroulement de la requête, les tâches des partenaires et les différents contrôles.

Divergences par rapport au Répertoire de la protection incendie de l'AEAI : épaisseurs de couche plus minces, d'autres produits, R90, est-ce possible ?

Les documents permettant d'optimiser les épaisseurs de couche sont disponibles sur le site Internet suivant pour quelques systèmes de revêtement, au chapitre «[Peintures intumescentes](#)» («Epaisseurs de couche pour le dimensionnement par calcul»).

La vérification par le calcul y relative, basée sur la publication SZS «Steeldoc 02/06, Protection incendie des structures» doit inclure le taux d'utilisation statique et doit être soumise à l'autorité de protection incendie (formules pour la vérification, voir le site «[Peintures intumescentes](#)»).

Pour toute utilisation de produits conformes aux dispositions de l'UE mais non inclus dans le Répertoire de la protection incendie de l'AEAI (y compris les peintures intumescentes R90), l'autorité de protection incendie compétente doit être contactée.

Indications utiles à l'attention des autorités de la protection incendie

Il doit être tenu compte de certaines indications relatives à la construction pour les apprêts intumescents apposés ultérieurement, sur le chantier. Il s'agit notamment de garantir l'accès à tous les emplacements où l'apprêt intumescent devra être apposé. Sont sources de difficultés :

- Les fixations de façades directement sur la construction en acier
- Les poutres de rive en contact direct avec le béton armé ou la maçonnerie
- Les éléments en acier reposant sur la maçonnerie
- La suspension de faux plafonds directement à la construction en acier ou avec un petit espace seulement
- La suspension de luminaires
- L'espace insuffisant des dispositifs de protection contre l'endommagement de la couche

Littérature :

Le SZS publie sur son site Internet www.szs.ch une vaste documentation et fournit des indications utiles, notamment pour l'application d'apprêts intumescents sur l'acier.

Autres documents du SZS :

- Protection incendie des structures/steeldoc - tec 02
- Tables de dimensionnement steelwork C4/06 (basées sur SIA 263)
- Tables de construction steelwork C5/05, plus CD-ROM (révision 2005, réimpression 2007)
- Documentation de cours « Protection incendie et construction métallique » (mesures de protection, évaluation et bases de calcul) plus CD avec logiciel
- La construction mixte acier-béton résistant au feu
- Informations de base en matière de peintures intumescentes
- Résistance au feu : Exigences, conception et dimensions des structures
- Résistance au feu des dalles mixtes avec tôles profilées

19 novembre 2007/Bi