

# 05/17 steeldoc

## Protection incendie des structures

Principes  
Conception  
Dimensionnement



tec 02 : 2017

**Document fixant l'état de la technique (DET)**  
selon les Prescriptions de protection incendie AEAI 2015 (rév. 2017)

# Table des matières

## I Protection incendie des structures en acier

<b>1 Introduction</b>	<b>4</b>
1.1 Les Prescriptions suisses de protection incendie	4
1.2 Protection incendie des structures en acier	5

<b>2 Bases de la protection incendie</b>	<b>6</b>
2.1 Déroulement d'un incendie	6
2.2 Objectifs de protection	6
2.3 Exigences de protection incendie	7
2.4 Mesures de protection incendie	7
2.5 Assurance qualité	7

<b>3 Concepts de protection incendie</b>	<b>8</b>
3.1 Concepts standard	8
3.2 Concepts orientés vers la performance	8
3.3 Protection incendie technique et organisationnelle	8
3.4 Compartiments coupe-feu et voies d'évacuation	8

<b>4 Résistance au feu</b>	<b>9</b>
4.1 Classes de résistance au feu	9
4.2 Comportement au feu de l'acier	9
4.3 Exigences de résistance au feu	10
4.4 Résistance au feu des parties de construction	10
4.5 Vérification de la résistance au feu	11

<b>5 Protection incendie constructive</b>	<b>13</b>
5.1 Acier non protégé	13
5.2 Peintures intumescentes	13
5.3 Revêtements	15
5.4 Crépis	15
5.5 Constructions mixtes acier-béton	16
5.6 Constructions mixtes acier-bois	16
5.7 Dalles mixtes avec tôle profilée	17
5.8 Dalles Slim Floor	17
5.9 Profilés à circulation d'eau	17

<b>6 Concepts de construction spécifiques</b>	<b>18</b>
6.1 Eléments porteurs et non porteurs	18
6.2 Systèmes redondants	18
6.3 Joints de dilatation et points de rupture	18
6.4 Effet membrane	19
6.5 Structure porteuse à l'extérieur	19

<b>7 Mesures techniques de protection incendie</b>	<b>20</b>
7.1 Utilisation d'installations d'extinction	20
7.2 Autres mesures techniques	20

<b>8 Etude de la protection incendie</b>	<b>20</b>
8.1 Modalités de sélection des solutions	20
8.2 Critères quant aux choix des concepts	21
8.3 Comparatif des coûts des solutions	21
8.4 Coûts des mesures de protection incendie	21

<b>9 Exemples d'ouvrage</b>	<b>22</b>
9.1 Nouveau siège mondial de la Fédération internationale de basketball	22
9.2 Construction de deux halles industrielles et artisanales à Puidoux	23
9.3 Autres ouvrages	24

## II Dimensionnement

1 Vérification de la résistance au feu	25
2 Nomogramme	26
3 Application du nomogramme	31
4 Procédures particulières	34
5 Formulaire de vérification	36
6 Notations et unités	37

## Annexes

1 Résistance au feu: Conception, dimensions, outils de travail	38
2 Peintures intumescentes	39
3 Facteurs de massivité des profilés laminés	40
4 Références bibliographiques, sources	41

## Centre de compétence en construction métallique

Le Centre suisse de la construction métallique SZS est une organisation professionnelle qui réunit les entreprises de construction métallique et les bureaux d'études les plus importants de Suisse. Par ses actions, le SZS atteint plus de 8'000 architectes, ingénieurs et maîtres de l'ouvrage. Le SZS met à disposition des informations techniques, encourage la recherche et la promotion de l'architecture en acier, s'engage dans la collaboration technique au-delà des frontières et encourage la formation continue des spécialistes. Ses membres profitent d'une vaste palette de prestations aux meilleures conditions.

[www.szs.ch](http://www.szs.ch)

**Stahlbau Zentrum Schweiz**  
**Centre suisse de la construction métallique**  
**Centro svizzero per la costruzione in acciaio**

## Editorial



Les personnes vivent et travaillent dans des ouvrages et s'attendent à ce que ces derniers soient sûrs et offrent la protection attendue vis-à-vis des différentes actions, notamment les actions accidentelles. Une de ces actions accidentelles est le feu. Pour cette action, les planificateurs doivent développer des concepts qui, en cas d'incendie, permettent aux personnes de fuir avant d'être incommodées par les fumées ou d'être sauvées par les équipes de sauvetage avant un effondrement de la structure. Pendant de nombreuses années, le revêtement de la charpente métallique est apparu comme la méthode de protection la plus simple – avec cependant l'inconvénient de faire disparaître la structure métallique derrière le revêtement. Une multitude de mesures de protection incendie et de méthodes de calcul intéressantes du point de vue technique et économique permet aussi de favoriser et d'encourager la réalisation de constructions résistantes au feu avec de l'acier protégé. En effet, en affinant les méthodes de calcul avancées et les concepts de protection incendie correspondants, les structures en acier peuvent rester visibles dans de nombreux cas.

Les Prescriptions suisses de protection incendie de l'AEAI, entrées en vigueur en 2015 et révisées en 2017, apportent certains allègements, plus de sécurité au niveau de l'étude et de nouvelles possibilités de conception pour les structures en acier. Ces simplifications sont en contrepartie liées à de nouvelles mesures d'assurance qualité et à des formalités plus strictes tout au long du processus de conception et d'exécution. Les combinaisons entre les mesures de protection constructives et techniques, telles que les installations d'extinction, sont particulièrement intéressantes. Ainsi, les constructions en acier peuvent demeurer visibles à l'intérieur, ce qui permet de réduire les coûts de la protection incendie de manière très importante.

La présente édition de *Steeltec* est une version mise à jour de la publication *tec02* de 2006 qui a fait ses preuves sur le thème de la protection incendie des structures en acier, reconnue comme état de la technique par l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI). Elle présente des concepts simples et clairs pour les projets d'ouvrages et des procédures facilement compréhensibles pour le calcul de la résistance au feu. Lors de l'étude détaillée de la protection incendie, il faut en outre utiliser les Directives de protection incendie avec leurs annexes complémentaires ainsi que les normes actuelles de la SIA et les Eurocodes.

Le Centre suisse de la construction métallique poursuit depuis des années des travaux de recherche et de développement sur le thème de la protection incendie – et cela également au niveau européen avec la Convention européenne de la construction métallique (CECM). Ainsi, des méthodes conviviales de vérification de la résistance au feu des parties de construction en acier ont été développées et reposent sur des résultats d'expérimentations scientifiques et des modèles de calculs confirmés. Par rapport à l'édition 2006, le cahier révisé *steeltec02:2017* présenté ici a été adapté aux Prescriptions de protection incendie AEA1 2015 (rév. 2017) et en particulier à la partie II Dimensionnement adaptée aux normes actuelles. Plus précisément, un nouveau nomogramme basé sur la Norme EN 1993-1-2 (2005) a été élaboré et les exemples ont été adaptés en conséquence.

La révision de cette publication a été confiée à un petit groupe de projet du Centre suisse de la construction métallique. Des contributions importantes proviennent de l'Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) de l'EPF de Zurich. La présente publication a reçu le soutien des entreprises et des institutions dont la liste se trouve en annexe. Nous adressons nos remerciements à tous les experts et à toutes les entreprises pour leur contribution.

Dr Roland Bärtschi  
Myriam Spinnler

La Commission technique pour la protection incendie de l'Association des établissements cantonaux d'assurance-incendie (CTPI-AEA1) a examiné le présent document du point de vue de la correspondance avec les exigences minimales des prescriptions suisses de protection incendie AEA1, édition 2015 (PPI 2015, état au 1.1.2017) et l'a reconnu comme «document fixant l'état de la technique» le 16.6.2017. Les documents fixant l'état de la technique examinés par la CTPI-AEA1 peuvent contenir des exigences allant au-delà des exigences minimales des PPI 2015.

# 1 Introduction

## 1.1 Les Prescriptions suisses de protection incendie

En Suisse, les tâches souveraines de protection incendie sont du ressort des cantons. Une uniformisation importante eut lieu pour la première fois en 1993 lors de la publication des (modèles de) Prescriptions de protection incendie harmonisées par l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI). Toutefois, les cantons ne reprennent pas tous complètement ces prescriptions, laissant le champ à certaines particularités régionales.

### Révision des Prescriptions de protection incendie

Le 01.01.2015 sont entrées en vigueur en Suisse les Prescriptions de protection incendie, adoptées au travers de l'Accord intercantonal sur l'élimination des entraves techniques au commerce AIE/C, valables de manière unifiée dans tous les cantons et révisées au 01.01.2017. Ces Prescriptions de protection incendie ont été révisées en tenant compte de l'évolution dans les domaines technique, constructif, économique et social. Les autorités cantonales de protection incendie sont chargées de l'application des prescriptions, des conditions de la procédure d'autorisation, du conseil et du soutien technique des planificateurs et de la vérification des standards de sécurité. L'objectif de la révision était de maintenir le niveau élevé de protection individuelle en tenant compte des ressources limitées en matière de protection des biens matériels. Les simplifications dans les règlements sont compensées par un concept plus élevé d'assurance qualité. L'assurance qualité est le ressort des planificateurs et des spécialistes mandatés (responsables de la protection incendie). Ceux-ci sont responsables de la mise en œuvre et de la conformité avec les exigences du processus d'autorisation. L'autorité de protection incendie veille au respect des prescriptions de protection incendie; elle examine les concepts et les preuves de protection incendie pour vérifier qu'ils sont complets, compréhensibles et plausibles.

Lit.: Tous les chiffres entre crochets [1] renvoient à la bibliographie de l'annexe 4.

Les Prescriptions suisses de protection incendie de l'AEAI sont constituées de parties suivantes<sup>1</sup>:

- Norme de protection incendie (standards de sécurité)
- Directives de protection incendie (compléments)

Ces documents sont complétés par<sup>2</sup>:

- Le répertoire de protection incendie
- Les notes explicatives de protection incendie
- Les aides de travail de protection incendie
- Les guides de protection incendie
- Le FAQ Protection incendie
- Les documents fixant l'état de la technique (DET)

Les principales nouveautés sont notamment:

- Les concepts standard et les concepts en fonction des performances fondés sur le risque avec méthodes de vérification (liées aux mesures d'assurance qualité et aux

formalités correspondantes), traités de manière égale.

- Les mesures de protection contre les incendies ne sont plus fixées sur la base du nombre d'étages, mais sur la hauteur du bâtiment.
- La limite d'un bâtiment élevé a été portée à une hauteur totale de 30 m.
- Pour les bâtiments de petites dimensions (max. 600 m<sup>2</sup> de surface totale de plancher, à l'exception d'utilisations spécifiques telles que garderie d'enfants, maison de repos, etc.), seules des mesures de protection incendie très mineures sont généralement requises<sup>2</sup>.
- Pour les voies d'évacuation et de sauvetage, il est fait un découplage des exigences entre le nombre d'escaliers et la surface de plancher. Comme nouveauté, un seul escalier est nécessaire jusqu'à 900 m<sup>2</sup>. Au-delà de 900 m<sup>2</sup> de surface de plancher, le nombre d'escaliers doit être établi non plus sur la base des unités de surface, mais sur la base des longueurs maximales admissibles spécifiées des voies d'évacuation. La longueur maximale des voies d'évacuation est généralement portée à 35 m, sans interruption de la voie d'évacuation par des locaux et des couloirs. En outre, le concept nouvellement introduit de l'unité d'utilisation permet, en fonction de l'affectation, l'évacuation par d'autres locaux. Dans l'ensemble, les Prescriptions de protection incendie 2015 (rév. 2017) permettent un rapport sensiblement plus favorable des surfaces utiles aux surfaces totales. Les maîtres de l'ouvrage sont donc tenus de prévoir des investissements relatifs au développement futur et aux changements d'affectation de leur ouvrage.
- Nouveau: la taille des compartiments coupe-feu autorisée est augmentée de 50% dans les bâtiments industriels et artisanaux.
- Une nette séparation entre résistance au feu et inflammabilité, soit plus aucune distinction entre ouvrage combustible et non combustible.
- Les classifications des matériaux et éléments de construction européens et suisses ont été intégrés. Dans le domaine des matériaux de construction, de nouvelles catégories de réaction au feu (RF1-RF4) sont définies, ce qui permet de régler l'utilisation de produits de construction de plus de 300 classifications européennes, avec la classification AEA1 existante. Par conséquent, la Directive «Utilisation des matériaux de construction» a notamment été complètement remaniée.
- La Loi fédérale sur les produits de construction réglemente la commercialisation des produits de construction dans la zone de l'UE et la Suisse. L'utilisation de produits de construction en autonomie cantonale est régie par les Prescriptions de protection incendie. Dans toutes



<sup>1</sup> Les Prescriptions suisses de protection incendie de l'AEAI [1] et les documents complémentaires sont consultables sur le site internet [www.praever.ch](http://www.praever.ch).

<sup>2</sup> Voir tableau des résistances au feu exigées (fig. 5)

les directives, les définitions et les méthodes de mesure de l'Accord intercantonal harmonisant la terminologie dans le domaine des constructions (AIHC) de la Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (DTAP) ont été adoptées.

- Définition des mesures minimales d'assurance qualité en matière de protection incendie dans toutes les phases de construction et d'installation, y compris définition des processus et des modalités de coopération entre toutes les parties concernées et les autorités de protection incendie.

## 1.2 Protection incendie des structures en acier

L'acier est incombustible et ne contribue pas à la charge thermique (ou calorifique selon l'Eurocode 1991-1-2) et à la propagation du feu. Toutefois, les propriétés mécaniques de l'acier dépendent de la température. Les mesu-

res standard de protection incendie pour les structures porteuses en acier se concentrent ainsi sur la protection de l'acier contre les effets de la chaleur. Cette protection peut être garantie par des mesures constructives et techniques comme par exemple les installations d'extinction, ou par des mesures organisationnelles.

Pour la construction métallique, les Prescriptions suisses de protection incendie de l'AEAI [1] apportent plus de sécurité de planification et de possibilités de conception grâce à des concepts orientés vers la performance avec méthodes de vérification, notamment des concepts constructifs avec peintures intumescentes, des concepts techniques avec installations d'extinction (par ex. sprinklers), ou grâce à des concepts spéciaux de protection incendie propres à chaque ouvrage.

Cette publication présente quelques méthodes de vérification courantes pour les structures en acier.

Vue intérieure du nouveau siège de Sky-Frame, structure en acier et dalles mixtes acier-béton: selon le concept de protection incendie orienté vers la performance, aucune exigence concernant la résistance au feu.



Peinture intumescente des poutres (Roth Gruppe).



## 2 Bases de la protection incendie

### 2.1 Déroulement d'un incendie

Le déroulement typique d'un incendie se divise en une phase de propagation du feu (composée de phases d'allumage et de feu couvant), une phase de feu généralisé et une phase de refroidissement. Lors de la phase de propagation du feu, le matériau s'échauffe, des gaz apparaissent à la surface des matériaux combustibles et s'enflamment, s'ensuit alors un incendie ouvert avec de la fumée et des gaz toxiques qui se propagent de plus en plus rapidement. Lorsque la température des gaz d'incendie dépasse 500 à 600 °C, on atteint l'embrasement généralisé (flash-over) lors duquel toutes les surfaces combustibles s'enflamment brusquement dans le local. C'est la phase d'incendie généralisé: les températures continuent de monter fortement jusqu'à atteindre leurs valeurs maximales. Puis, le combustible venant à manquer, la phase de refroidissement commence et finalement l'incendie s'éteint de lui-même.

La durée de la phase d'incendie généralisé et la température maximale atteinte dépendent de la nature et de la quantité du matériau combustible (charge thermique), des dimensions du local et de l'approvisionnement en oxygène. La dissipation de chaleur dans les dalles et les parois ainsi que par les ouvertures joue également un rôle important. Les incendies ne conduisent pas tous à un embrasement généralisé. Dans les grands locaux en particulier ceux dont la charge thermique est faible à moyenne, les incendies restent souvent localisés et atteignent des températures moins élevées qui ne mettent pas en danger le système porteur.

#### Incendie normalisé

Afin de pouvoir comparer le comportement au feu de chacune des parties de construction, la courbe d'incendie normalisé ISO 834 a été introduite puis reprise dans la

Norme EN 1363-1 comme courbe de température standard (voir fig. 2). Le seul paramètre de la courbe de température est le temps. La courbe de l'incendie normalisé est donc une simplification, mais qui est bien adaptée aux petits locaux et donc souvent utilisée.

Les agréments de protection incendie AEAI pour les revêtements et les peintures intumescentes sont basés par exemple sur cette courbe d'incendie normalisé.

#### Incendie naturel

L'incendie naturel (incendie réel ou incendie paramétrisé) tient compte d'autres paramètres (par exemple la charge thermique, le type et la densité de stockage de la matière combustible, les caractéristiques thermiques et géométriques du local, les conditions de ventilation et les moyens d'extinction). Il est particulièrement bien adapté aux concepts de protection incendie basés sur la performance. La difficulté concerne les incertitudes dans le choix des paramètres clés et dans le déroulement d'un incendie.

Les prescriptions standard donnent des renseignements précis sur les durées d'incendie exigées d'un incendie normalisé. Dans les concepts basés sur la performance, les paramètres de calcul pour les incendies naturels sont définis en collaboration avec les autorités de protection incendie.

### 2.2 Objectifs de protection

Les mesures de protection incendie ont deux objectifs principaux: prévenir le départ d'un feu et, en cas d'incendie, en minimiser les conséquences. En particulier, les bâtiments, ouvrages et installations doivent être construits, exploités et entretenus conformément à la Norme de protection incendie [1] de manière à

- garantir la sécurité des personnes et des animaux,
- prévenir les incendies, les explosions et limiter la propagation des flammes, de la chaleur et de la fumée,

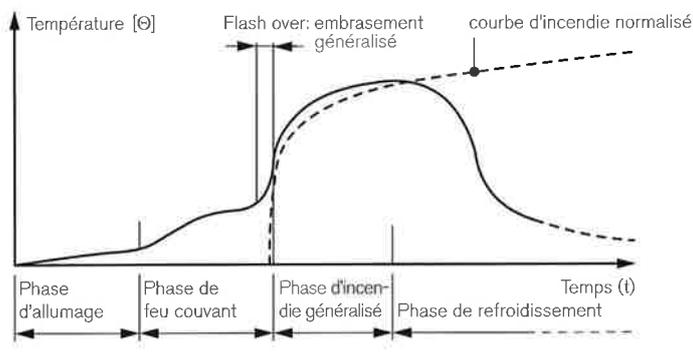


Fig. 1: Phases du déroulement d'un incendie [18]

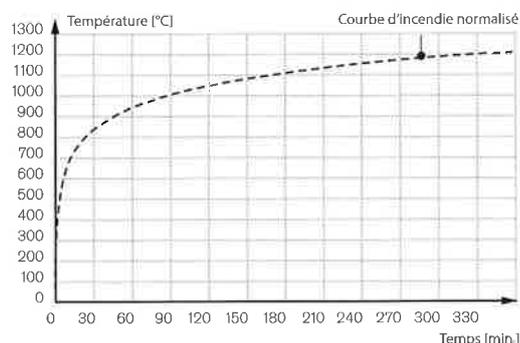


Fig. 2: Courbe d'incendie normalisé ISO 834 / EN 1363-1 (selon [9])

- limiter les risques de propagation du feu aux bâtiments, ouvrages et installations voisins,
- conserver la capacité portante pendant une durée déterminée,
- permettre une lutte efficace contre le feu et garantir la sécurité des équipes de sauvetage.

### 2.3 Exigences de protection incendie

Le danger d'incendie (= dommages prévisibles) résulte du rapport entre les dangers et les mesures de protection prises pour les prévenir. Le risque d'incendie est le produit du danger d'incendie et du danger d'activation (probabilité de survenance). Les exigences de protection incendie dans les bâtiments, ouvrages et installations sont notamment déterminées par

- le type de construction, la situation, les risques de voisinage, l'étendue et l'affectation,
- la hauteur du bâtiment,
- le nombre d'occupants,
- la charge thermique et le comportement au feu des matériaux,
- le danger d'activation (sources d'inflammation),
- les possibilités d'intervention des sapeurs-pompiers.

### 2.4 Mesures de protection incendie

Les mesures de protection incendie doivent être planifiées de manière à être adaptées aux objectifs de protection selon la section 2.2 ainsi qu'aux objectifs de l'entreprise. La Norme de protection incendie [1] fait la distinction entre les mesures de protection incendie constructives et techniques.

Les éléments suivants sont déterminants pour les mesures de protection incendie constructives:

- les matériaux de construction (combustibilité, résistance, rigidité),
- la résistance au feu des structures porteuses et des éléments de construction,
- les distances de sécurité,
- les compartiments coupe-feu et les voies d'évacuation.

Les mesures de protection incendie techniques sont constituées notamment par des

- installations d'extinction (installations sprinklers, déluge et extinction à gaz inertes),
- installations de détection d'incendie et de fuite de gaz,
- installations d'extraction de fumée et de chaleur, systèmes de mise en surpression.

Ils sont complétés par des mesures de protection incendie organisationnelles. La combinaison de ces mesures est désignée par le terme de «concept de protection incendie».

### 2.5 Assurance qualité

L'assurance qualité a fortement gagné en importance avec les Prescriptions 2015, rév. 2017. La Directive de protection incendie AEAI 11-15 «Assurance qualité en protection incendie» définit les mesures d'assurance qualité requises en protection incendie dans toutes les phases de construction et d'équipement du bâtiment. Elle définit les processus et règle la coopération entre toutes les parties concernées et l'autorité de protection incendie.

La nature et l'étendue des mesures d'assurance qualité requises sont basées sur les degrés d'assurance qualité introduits 1 à 4 selon la Directive de protection incendie AEAI 11-15.

---

Lit.: Tous les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie dans l'annexe 4.

## 3 Concepts de protection incendie

La protection incendie doit être prise en compte au plus tôt dans le processus d'étude globale de l'ouvrage. En règle générale, les concepts de protection incendie sont axés sur les mesures standard conformément aux Prescriptions suisses de protection incendie de l'AEAI [1]. Elles distinguent entre le concept standard purement constructif et le concept standard d'extinction. Les exigences de résistance au feu des parties de construction sont décrites pour ces deux concepts standard de manière détaillée dans la Directive de protection incendie 15-15<sup>3</sup> et à la figure 5.

Dans la Norme de protection incendie, on distingue les mesures obligatoires (concept standard, art. 10) et les mesures orientées vers la performance (art. 11 et 12). Les mesures orientées vers la performance sont réparties entre mesures de protection incendie alternatives comme solution ponctuelle en dérogation au concept standard (art. 11) ou comme concept global (art. 12). Les mesures orientées vers la performance doivent atteindre des objectifs de protection équivalents.

### 3.1 Concepts standard

#### Concepts standard constructifs

La protection incendie constructive de l'ensemble d'un ouvrage ou d'éléments de constructions individuels est atteinte par des mesures telles que le surdimensionnement, le revêtement par placage, la peinture intumescente ou la construction mixte.

#### Concepts standard d'extinction

Les installations d'extinction (par ex. les sprinklers) peuvent être prises en compte dans le cadre de concepts standard pour déterminer, sans justification par le calcul, la résistance au feu des structures porteuses pour certaines affectations, bâtiments élevés exceptés (voir fig. 5).

### 3.2 Concepts orientés vers la performance

Les concepts de protection incendie orientés vers la performance sont basés sur une association judicieuse de mesures pour un ouvrage donné; ils peuvent remplacer des exigences standard dans la mesure où l'objectif de protection est atteint de manière équivalente. Ils nécessitent l'accord de l'autorité de protection incendie compétente et doivent être évalués au moyen d'une évaluation du risque d'incendie ou d'une autre méthode de calcul reconnue par l'AEAI<sup>4</sup>.

L'objectif de protection est atteint par la combinaison de mesures constructives, techniques et organisationnelles. Les principaux éléments d'un concept de protection incendie orienté vers la performance sont l'affectation, la charge

thermique, la taille des compartiments coupe-feu et la résistance au feu des éléments de construction. On doit prendre en compte, par ex.:

- les concepts globaux de structures porteuses pour assurer la sécurité structurale (par ex. systèmes redondants ou effet membrane),
- le danger d'incendie réduit (affectation, charge thermique) avec, par ex. une vérification au moyen d'incendies naturels,
- les compartiments coupe-feu de petites dimensions,
- les mesures de protection incendie techniques et organisationnelles.

### 3.3 Protection incendie technique et organisationnelle

Les équipements de protection incendie ont une importance particulière car les personnes sont mises en danger bien avant la phase d'incendie généralisé, par la chaleur et en particulier la fumée: les détecteurs d'incendie permettent de déceler à temps un incendie et d'alarmer rapidement les utilisateurs et les sapeurs-pompiers; les installations d'extinction agissent dès la phase de propagation du feu et préviennent la hausse de la température et la propagation du feu, voire éteignent même l'incendie. Outre pour les autorités de protection incendie, les équipements de protection incendie revêtent un intérêt particulier pour les assureurs parce qu'ils réduisent fortement le risque d'incendie. Les mesures de protection incendie organisationnelles (par ex. organisation de la protection incendie en entreprise, formation, rangement et entretien) jouent également un rôle important dans les concepts de protection incendie.

### 3.4 Compartiments coupe-feu et voies d'évacuation

La détermination des compartiments coupe-feu et des voies d'évacuation fait également partie d'un concept de protection incendie. Les compartiments coupe-feu préviennent la propagation du feu et de la fumée dans les autres parties du bâtiment. Les installations d'extinction peuvent également être prises en compte dans la détermination de l'étendue autorisée des compartiments coupe-feu. Les parties de construction telles que les parois et les planchers délimitant un volume fermé, construites en conséquence, sont considérées comme formant un compartiment coupe-feu. Le compartimentage coupe-feu dans les ouvrages et les installations dépend de leur type, emplacement, dimension, géométrie du bâtiment et affectation. Des indications détaillées à ce sujet se trouvent dans la Directive de protection incendie correspondante<sup>3</sup> à l'art. 3.1.2.

<sup>3</sup> Directive de protection incendie 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu» [1]

<sup>4</sup> voir section 4.5, paragraphe «Évaluation du risque d'incendie»

Les voies d'évacuation et de sauvetage sont réglementées par la Directive de protection incendie correspondante <sup>5</sup>. Celle-ci contient des indications détaillées sur la planification des voies d'évacuation et de sauvetage. Des métho-

des d'ingénierie peuvent désormais être utilisées selon la Norme de protection incendie 2015 (rév. 2017) pour dimensionner les voies d'évacuation.

## 4 Résistance au feu

### 4.1 Classes de résistance au feu

Conformément à la Directive de protection incendie de l'AEAI <sup>6</sup>, les matériaux de construction et les parties de construction sont classés selon des critères de protection incendie.

#### Classification des matériaux de construction

Les plus de 300 classifications possibles de matériaux de construction selon la Norme SN EN 13501-1, 13501-5, 13501-6 et selon l'AEAI sont réparties dans les quatre groupes de réaction au feu suivants. Les matériaux de construction sont ainsi classés dans les groupes suivants, selon leur réaction au feu (RF):

- RF1 (pas de contribution au feu),
- RF2 (faible contribution au feu),
- RF3 (contribution admissible au feu),
- RF4 (contribution inadmissible au feu).

Si les matériaux de construction sont classés à la fois selon la norme EN et selon l'AEAI et doivent par conséquent être classés selon des groupes de réaction au feu différents, il est possible d'utiliser le groupe le moins élevé sans restriction.

#### Classification des éléments de construction

La résistance au feu des éléments de construction est déterminée selon des essais normalisés en laboratoire ou au moyen de méthodes de calcul. La durée de résistance au feu est déterminante par rapport aux critères:

- R** Résistance (stabilité statique)
- E** Étanchéité (impermeabilité aux fumées)
- I** Isolation thermique (capacité isolante)

L'ensemble de la structure porteuse et tous les éléments de construction porteurs sont évalués en fonction du critère R, les compartiments coupe-feu doivent répondre en outre aux critères E et I. Les structures tout en acier sont en règle générale porteuses et ne forment pas un compartiment coupe-feu.

L'indication de la durée de la résistance au feu accompagne les critères de résistance au feu (R, E, I) en minutes (en général 30, 60, 90, 120 ou 180), durée pendant laquelle l'élément de construction doit satisfaire aux exigences en cas d'incendie normalisé ISO. De plus, d'autres dénominations, au moyen de lettres, sont disponibles pour d'autres critères.

Élément de construction	Exigence	Classes de résistance au feu
Pilier porteur	<b>R</b>	R 30, R 60, .....
Plancher porteur formant compartiment	<b>REI</b>	REI 30, REI 60, .....

Fig. 3 Exemples de classification

### 4.2 Comportement au feu de l'acier

Les éléments de construction en acier sont incombustibles et ne contribuent pas à la charge thermique et à la propagation du feu. Les propriétés mécaniques de l'acier sont toutefois dépendantes de la température. La limite d'élasticité calculée (au-dessus de 400 °C) et le module d'élasticité (au-dessus de 200 °C) se réduisent à mesure que la température augmente<sup>7</sup>. Ce facteur doit être pris en compte lors du dimensionnement des constructions en acier en cas d'incendie.

Après l'extinction de l'incendie, l'acier de construction regagne sa résistance et ses propriétés usuelles. Les aciers à haute résistance ou laminés thermomécaniquement peuvent toutefois être durablement endommagés et exigent des analyses du matériau après l'incendie.

<sup>5</sup> Directive de protection incendie 16-15 «Voies d'évacuation et de sauvetage» [1]

<sup>6</sup> Directive de protection incendie 13-15 «Matériaux et éléments de construction» [1]

<sup>7</sup> voir fig. 4

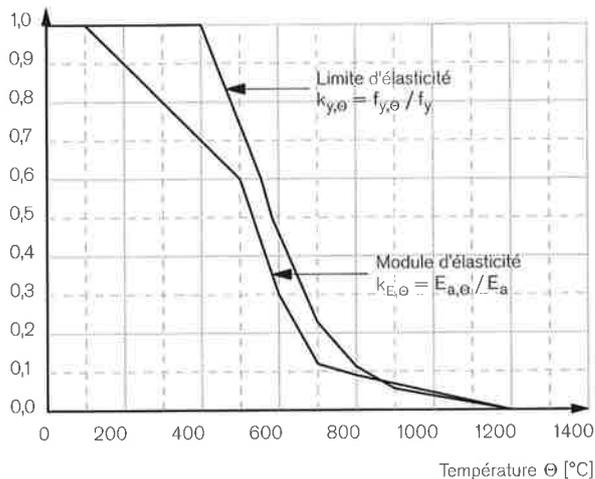


Fig. 4: Propriétés de l'acier de construction en cas d'incendie, facteurs de réduction  $k_{y,\theta}$  und  $k_{E,\theta}$

Les aciers inoxydables et les aciers spéciaux résistants au feu présentent grâce aux éléments d'alliage, un comportement au feu plus favorable que celui de l'acier de construction normal, ce qui peut avoir une importance lors du calcul de la résistance au feu <sup>8</sup>.

L'échauffement des sections en acier dépend des conditions dans le local où se situe l'incendie et du facteur de massivité  $A/V$  (rapport de la surface  $A$  au volume  $V$ ). La température critique de l'acier est atteinte lorsque la limite d'élasticité descend en dessous de la contrainte donnée dans la section (en général 500–700 °C). Les mesures constructives pour prolonger la durée de résistance au feu des structures porteuses en acier non protégé sont particulièrement importantes là où un incendie généralisé pourrait échauffer des éléments en acier au-dessus de la température critique.

### 4.3 Exigences de résistance au feu

Les structures porteuses doivent être dimensionnées et construites de manière à ce que <sup>9</sup>

- elles conservent suffisamment leur stabilité en cas d'incendie,
- ni la défaillance prématurée d'une partie de construction isolée ni les effets de la dilatation thermique n'entraînent leur effondrement au même niveau ou à un autre niveau,
- les compartiments coupe-feu attenants ne subissent pas de dommages disproportionnés (fonction de compartimentage conservée).

La Directive de protection incendie 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu» <sup>10</sup> fixe la résistance au feu exigée pour les

concepts standard (voir aussi fig. 5). Sont déterminants:

- la hauteur des bâtiments,
- la charge thermique (mobilier et immobilière),
- le type de construction, la situation, les dimensions et l'affectation des ouvrages, les équipements ou les compartiments coupe-feu.

Les installations d'extinction peuvent être prises en compte lors de la détermination de la résistance au feu des structures porteuses selon les modalités de la figure 5 (Concept de protection sprinklers comme solution standard). D'autres réductions de la résistance au feu sont possibles dans le cadre d'un concept de protection incendie orienté vers la performance, avec les vérifications correspondantes.

Aucune exigence n'est posée concernant la résistance au feu des ouvrages et installations à un seul niveau au-dessus du sol, pour le niveau supérieur des ouvrages et installations à plusieurs étages (hauteur des bâtiments < 30 m), ainsi que pour certains parkings (dissipation de chaleur). De même, aucune exigence n'est posée pour les maisons individuelles y compris le sous-sol ainsi que pour les ouvrages de petites dimensions selon la définition correspondante <sup>10</sup>.

### 4.4 Résistance au feu des éléments de construction en acier

Dans la construction en acier en particulier, l'isolation thermique, la dissipation de chaleur dans les parties massives en béton (qui restent froides plus longtemps), ou des concepts de construction spécifiques (par ex. construction mixte, effet membrane, refroidissement avec de l'eau) servent pour l'essentiel à atteindre la résistance au feu exigée. Résistances au feu normalement atteignables pour les éléments de construction porteuses en acier:

- sans protection: jusqu'à R 30,
- avec revêtements (par ex. plaques, crépis): R 30, R 60, R 90 ou plus,
- avec peintures intumescentes: R 30 et R 60 (limité en Suisse par les règlements),
- structure mixte (par ex. dalles mixtes, poutres mixtes, poteaux et poutres à âme enrobée de béton, profils creux remplis de béton, ...): R 30, R 60, R 90 ou plus.

<sup>8</sup> voir partie II Dimensionnement, fig. 57 et 58

<sup>9</sup> Conformément à la Directive de protection incendie 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu» [1]

<sup>10</sup> Directive de protection incendie 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu» [1], exigences pour les constructions en acier voir fig. 5 en page 12 de ce cahier

#### 4.5 Vérification de la résistance au feu

La résistance au feu des structures porteuses ou des éléments de construction individuels doit être vérifiée par des essais normalisés en laboratoire (classification selon le répertoire de la protection incendie) ou par des méthodes de calcul. Les vérifications doivent être effectuées par le responsable de la conception (par ex. l'ingénieur civil). D'autres indications sont données dans la Directive de protection incendie AEA1 11-15 «Assurance qualité en protection incendie <sup>11</sup>».

En présence de concepts standard, la résistance au feu des structures en acier ou mixtes lors d'un incendie normalisé est vérifiée selon les Normes ISO 834 / EN 1363-1. Si les vérifications font appel à des incendies naturels (courbe d'incendie normalisé ou paramétré) ou à des concepts de protection incendie orientés vers la performance, ces derniers doivent alors attester de l'équivalence et de l'accord de l'autorité de protection incendie. De telles vérifications permettent, en particulier pour les grands ouvrages, de réaliser des optimisations structurales et des économies de coûts de protection incendie conséquentes.

Les vérifications peuvent être effectuées au niveau de la résistance ultime ( $E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t}$ ), en fonction du temps ( $t_{fi,d} \geq t_{fi,req}$ ) ou de la température ( $\Theta_d \leq \Theta_{cr,d}$ ). Les vérifications concernent les éléments de construction, les parties de structures ou la structure entière. Les influences de l'ensemble du système sur les éléments de construction individuels doivent être prises en considération.

##### Calcul avec le nomogramme

Le nomogramme constitue un outil pratique pour la détermination de la durée de résistance au feu d'un profilé en acier non revêtu ou revêtu. Il permet également de déterminer par le calcul l'épaisseur de couche des profilés métalliques revêtus ou peints. Le nomogramme fournit en outre un format de vérification unifié et clair pour le contrôle par les autorités de protection incendie. Il se base sur la courbe d'incendie normalisé <sup>12</sup>. La procédure de vérification est décrite de manière détaillée dans la partie II Dimensionnement.

##### Calcul avec les courbes d'incendie naturel

En cas de faible charge thermique, de locaux élevés ou de forte extraction de chaleur, les températures dans le local où se situe l'incendie restent basses et la température critique n'est souvent pas atteinte sur une structure porteuse non protégée même en cas d'incendie généralisé, de sorte qu'aucune mesure n'est nécessaire. La courbe d'incendie normalisé <sup>13</sup> ne décrit que de manière insuffisante l'incendie réel dans de tels cas puisqu'elle ne tient par exemple pas compte d'une phase de refroidissement. La Directive de protection incendie 15-15 «Distances de

sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu» autorise par conséquent l'utilisation de courbes d'incendies naturels pour les vérifications par le calcul <sup>14</sup>. Les paramètres exigés doivent être fixés au préalable avec l'autorité de protection incendie. Un exemple de dimensionnement d'un incendie naturel se trouve dans la Partie II Dimensionnement.

##### Utilisation de logiciels informatiques

Il existe un grand nombre de programmes informatiques avec lesquels les vérifications peuvent être effectuées. Comme en cas de simulation de courbes d'échauffement de nombreux paramètres peuvent être modifiés, il est nécessaire que les résultats soient vérifiés par des considérations de plausibilité.

L'établissement de courbes d'échauffement peut être réalisé à l'aide d'une modélisation spatiale en fonction de la charge thermique, de la dimension du local et des ouvertures. Les modèles correspondants sont tirés de la Norme EN 1991-1-2.

Le calcul des résistances ultimes en fonction du temps, resp. des résistances réduites correspondantes, est maintenant intégré dans divers programmes. Le comportement structural des systèmes entiers peut être simulés avec des programmes aux éléments finis en fonction des courbes d'échauffement.

##### Evaluation du risque d'incendie

Une sécurité incendie équivalente au concept standard peut également être atteinte avec une résistance au feu réduite, notamment en cas de charge thermique faible ou d'utilisation de mesures techniques.

11 Directive de protection incendie 11-15 «Assurance qualité en protection incendie» [1]

12 Courbe d'incendie normalisé selon ISO 834 / EN 1363-1,

13 Courbe d'incendie normalisé selon ISO 834 / EN 1363-1, voir fig. 2 [1]

14 Directive de protection incendie 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu», art. 6.2 [1]

**Fig. 5: Exigences de résistances au feu**

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les résistances au feu requises des éléments de construction en acier et mixtes acier-béton selon le concept standard des Prescriptions suisses de protection incendie PPI 2015 (rév. 2017) de l'AEAI.

Critères	Exigence vis-à-vis de la résistance au feu de la structure porteuse selon le concept	
	constructif	installation d'extinction <sup>1</sup>
<b>Affectation/hauteur totale/nombre d'étages/surfaces</b>		
Sous-sols de manière générale	min. R 60 <sup>2</sup>	min. R 60 <sup>2</sup>
Sous-sols de maisons individuelles	aucune	aucune
Maisons individuelles	aucune	aucune
Bâtiment et installations à un niveau au-dessus du sol	aucune	aucune
Niveau supérieur (hauteur de bâtiment ≤ 30 m)	aucune	aucune
Installations (par ex. escalier)	aucune	aucune
Bâtiments de tailles réduite (définition voir sous <sup>3</sup> )	aucune	aucune
Bâtiments annexes (définition voir sous <sup>4</sup> )	aucune	aucune
<b>Bâtiments d'habitation abritant plusieurs logements, bureaux, écoles, locaux de vente<sup>5</sup>, agriculture</b>		
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m, 2 niveaux avec surface totale <sup>7</sup> ≤ 2400 m <sup>2</sup>	aucune	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m, 2 niveaux avec surface totale <sup>7</sup> > 2400 m <sup>2</sup> ou ≥ 3 niveaux	R 30	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m, 2 niveaux, hauteur du rez-de-chaussée ≤ 8m	R 30	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m, ≥ 2 niveaux (autres cas)	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 30 m jusqu'à 100 m	R 90 <sup>10,11</sup>	R 60 <sup>10,11</sup>
<b>Industrie et artisanat, charge thermique moyenne (q ≤ 1'000 MJ/m<sup>2</sup>)</b>		
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m, 2 niveaux avec surface totale <sup>7</sup> ≤ 2400 m <sup>2</sup>	aucune	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m, 2 niveaux avec surface totale <sup>7</sup> > 2400 m <sup>2</sup> ou ≥ 3 niveaux	R 30	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m, 2 niveaux, hauteur du rez-de-chaussée ≤ 8m	R 30	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m, ≥ 2 niveaux (autres cas)	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 30 m jusqu'à 100 m	R 90 <sup>10,11</sup>	R 60 <sup>10,11</sup>
<b>Industrie et artisanat, charge thermique forte (q &gt; 1'000 MJ/m<sup>2</sup>)</b>		
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m, 2 niveaux avec surface totale <sup>7</sup> ≤ 2400 m <sup>2</sup>	R 30	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m, 2 niveaux avec surface totale <sup>7</sup> > 2400 m <sup>2</sup> ou ≥ 3 niveaux	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m, 2 niveaux, hauteur du rez-de-chaussée ≤ 8m	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m, ≥ 2 niveaux (autres cas)	R 90	R 60
- Hauteur <sup>6</sup> > 30 m jusqu'à 100 m	R 120 <sup>10,11</sup>	R 90 <sup>10,11</sup>
<b>Grands magasins, locaux recevant un grand nombre de personnes</b>		
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 30 m	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 30 m jusqu'à 100 m	R 90 <sup>10,11</sup>	R 60 <sup>10,11</sup>
<b>Etablissements d'hébergement [a, b, c]<sup>8</sup> par ex. hôpitaux, maisons de retraite et de soins, hôtels</b>		
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 30 m	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 30 m jusqu'à 100 m	R 90 <sup>10,11</sup>	R 60 <sup>10,11</sup>
<b>Parkings et garages pour véhicules à moteur (surface de base<sup>7</sup> &gt; 600 m<sup>2</sup>)</b>		
- 2 niveaux, avec surface totale <sup>7</sup> ≤ 2400 m <sup>2</sup> (hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m ou jusqu'à 30 m, si hauteur du rez-de-chaussée ≤ 8 m)	aucune	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m murs d'enceinte avec ouvertures non obturables > 25%	R 30 <sup>9</sup>	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> jusqu'à 11 m (non ouverts)	R 30	aucune
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m murs d'enceinte avec ouvertures non obturables > 25%	R 30-RF1 <sup>9</sup>	R 30 <sup>9</sup>
- Hauteur <sup>6</sup> > 11 m jusqu'à 30 m (non ouverts)	R 60	R 30
- Hauteur <sup>6</sup> > 30 m jusqu'à 100 m	R 90 <sup>10,11</sup>	R 60 <sup>10,11</sup>

légende:

- 1 Concept d'installation d'extinction selon Norme de protection incendie, art. 42 (installation sprinklers ou installation d'extinction équivalente)
- 2 tout au moins comme la structure située au-dessus
- 3 Bâtiment de faible hauteur (hauteur totale jusqu'à 11 m), max. 2 niveaux hors terre, max. 1 niveau souterrain, surface total de tous les niveaux jusqu'à 600 m<sup>2</sup>, pas d'utilisation pour personne qui dort, à l'exception d'un appartement, pas d'utilisation comme crèche, locaux recevant un nombre important de personnes seulement au rez-de-chaussée
- 4 un seul niveau, surface ≤ 150 m<sup>2</sup>, pas de séjour prolongé de personnes, pas de foyers ouverts, pas de dépôts de matières dangereuses en grande quantité (par ex. garages, cabanons de jardin, écurie pour petits animaux, petit entrepôt)
- 5 surface de compartiment coupe-feu ≤ 1200 m<sup>2</sup>, grand nombre de personnes ≤ 300
- 6 hauteur de bâtiment = la plus grande hauteur entre le point le plus haut de la charpente du toit, mesurée à l'aplomb du terrain de référence
- 7 somme des surfaces d'étage
- 8 définitions [a, b, c] selon Directive de protection incendie 10-15 «Termes et définitions» – Réduction de R à 30 minutes possible pour les établissements d'hébergement isolés [c], si 2 niveaux jusqu'à 11 m de hauteur avec surface<sup>7</sup> ≤ 2400 m<sup>2</sup>
- 9 aucune exigences pour les éléments porteurs correspondant au groupe de résistance au feu RF1 dans les zones à une distance ≤ 35 m de l'ouverture non obturable la plus proche
- 10 au niveau supérieur, réduction de R de 30 minutes
- 11 aucune exigences pour les bâtiments élevés à un seul niveau (par ex. entrepôts à haute rayones, halles)

## 5 Protection incendie constructive

Plusieurs types ou combinaisons d'éléments de construction résistants au feu sont présentées ci-dessous pour la protection incendie des structures en acier. La protection incendie constructive doit être intégrée dès le début dans le concept global du projet de construction.

### 5.1 Acier non protégé

Les structures porteuses en acier non protégé sont habituellement présentes dans les locaux extérieurs ainsi que dans les bâtiments ou les niveaux sans exigence de résistance au feu (par ex. halles à un seul niveau, niveau supérieur pour  $h < 30$  m). Grâce à un surdimensionnement statique de la construction, il est possible d'atteindre une résistance au feu de 30 minutes, également dans les locaux intérieurs avec acier non protégé, notamment en cas de profilés compacts ou de poutres exposées au feu uniquement sur trois côtés (par ex. poutres mixtes). De même, des profilés en acier à plus haute résistance ou éventuellement une nuance d'acier résistant aux températures élevées peuvent être utilisés. Des indications relatives au choix des dimensions des sections sont présentées dans l'annexe 1.

La durée de résistance au feu exigée doit être vérifiée par le calcul<sup>15</sup>. Cette vérification peut être réalisée simplement à l'aide du nomogramme<sup>16</sup>. On considère dès lors les propriétés mécaniques des matériaux dépendantes de la température et le système statique de l'élément porteur. Une faible sollicitation statique est favorable et est souvent présente en cas d'incendie par exemple en cas de changement d'affectation, de fortes sollicitations sismiques ou de vent et lorsque les flèches ou les vibrations deviennent déterminantes. En outre, les charges utiles doivent être réduites pour le cas de charge «incendie»<sup>17</sup>.

### 5.2 Peintures intumescentes

Les peintures intumescentes ou les systèmes de peinture intumescente sont autorisés en Suisse uniquement pour l'application en cas de résistances au feu R 30 et R 60<sup>18</sup>. Ils permettent de réaliser des structures avec des profilés en acier visibles.

Les peintures intumescentes ne se distinguent visuellement guère des couches anticorrosion conventionnelles grâce à leur surface lisse (plus d'effet «peau d'orange»). Les couches relativement fragiles sont toutefois soumises à certaines restrictions d'application. Les parties exposées doivent être protégées contre les dommages mécaniques et, dans les bâtiments d'habitation, selon les circonstances, il y a lieu de prendre des mesures supplémentaires de protection incendie<sup>19</sup>. Les nouveaux produits, et spécialement les produits à 2 composants sont nettement plus résistants, adaptés à des poteaux exposés aux chocs par exemple, et donc permettent également une application en atelier avant leur transport vers le lieu du montage.



Fig. 6: Structure porteuse en acier non protégé, Bâtiment administratif Arcelor Long Commercial, Differdange, Luxembourg

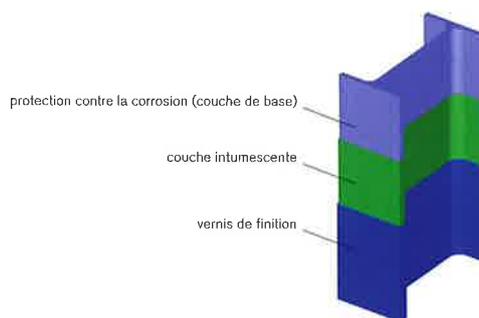


Fig. 7: Les peintures intumescentes se composent d'une couche de base anticorrosive (en général phosphate de zinc), de la couche intumescente proprement dite d'une épaisseur correspondant à la résistance au feu requise (environ 0,3 à 3,5 mm) et du vernis de finition.

15 Sur la base des Normes SIA 263:2013, chiffre 4.8, resp. SN EN 1993-1-2:2005, SIA 260:2013, chiffre 3.3.6 et SIA 261:2014, chiffre 15 [4,5,6]. Il faut à ce propos prendre en compte les propriétés du matériau dépendantes de la température. Pour cette vérification par le calcul, on peut réduire les charges utiles selon la Norme SIA 260:2013, chiffre 4.4.3.5 et 4.4.3.7 [4] et également réduire les longueurs de flambage des poteaux, voir partie II Dimensionnement.

16 voir partie II Dimensionnement

17 avec le coefficient  $\psi_2$  selon Norme SIA 260:2013 [4], chiffre 4.4.3.5 et tableau 2

18 en Allemagne selon DIN EN 13381-8, 13501-2, 1363-2 jusqu'à R 180

19 voir notes explicatives, cahiers techniques, etc. de l'AEAI ou des autorités de protection incendie relatifs aux «Peintures intumescentes»



Fig. 8: Lors d'un incendie, la couche intumescente gonfle pour atteindre environ 50 fois son épaisseur d'origine et former une couche isolante, qui protège l'acier de la chaleur.



Fig. 9: Application au pistolet sur un pilier de façade en profil creux (Max Schweizer AG)

Fig. 10: Peinture intumescente sur un poteau en fonte historique du Löwenbräuareal de Zurich. Résistance au feu 60 minutes.

### Mode d'action

Les peintures intumescentes sont des systèmes de couches, composés en règle générale d'une couche de fond servant de protection contre la corrosion et testée en tant que partie intégrante du système, de la couche de peinture intumescente proprement dite et d'un vernis de finition de teinte au choix, testé en tant que partie intégrante du système. Pour les systèmes de peinture intumescente à deux couches, l'application d'un vernis de finition n'est pas autorisée. A partir d'une température superficielle de 120–200 °C, les peintures intumescentes se mettent à gonfler et forment une couche isolante dont l'épaisseur atteint 40 à 50 fois l'épaisseur de la couche sèche appliquée.

### Application

L'application de peintures intumescentes est décrite dans la publication SZS C2.5:2017 [2] et dans les documents correspondants de l'AEAI ou des autorités de protection incendie (par ex. instructions, note explicative de protection



Fig. 11: La Tour de la Foire de Bâle: Peinture intumescente R 60 de la structure porteuse des deux niveaux largement en saillie; dans la tour, revêtements conventionnels par plaques R 90 ainsi que des poteaux mixtes.



Fig. 12: Dôme de l'université de Zurich: profils en caissons recouverts de peinture intumescente R 30

incendie)<sup>20</sup> et nécessite une autorisation de l'autorité de protection incendie compétente. Les demandes doivent être faites à l'aide de la formule du Centre suisse de la construction métallique (SZS)<sup>21</sup>.

Les produits homologués ainsi que les épaisseurs exigées sont publiés dans le Répertoire suisse de la protection incendie<sup>22</sup>. Les valeurs standard de l'épaisseur des couches indiquées peuvent être optimisées avec une vérification par le calcul<sup>23</sup> en tenant compte du taux d'utilisation. La publication SZS C2.5:2017 Peintures intumescentes (document fixant l'état de la technique) [2] contient d'autres indications et définit les bases pour l'application.

La couche de fond est appliquée en atelier, la peinture intumescente et le vernis de finition sont habituellement appliqués sur place, c.-à-d. sur le chantier. Les nouveaux produits, et spécialement les produits à 2 composants, du fait de la dureté du revêtement, permettent aussi une application en atelier. Grâce à des mesures appropriées en cours de transport et un montage soigneux, seules des réparations mineures sont nécessaires après le montage. Les attaches, les boulons, etc., doivent également être protégés de façon adéquate. L'application de peintures intumescentes présuppose que

- dans le cas de constructions nouvelles, le support ait été préalablement décapé,
- dans les bâtiments anciens ou en cas d'assainissement, la peinture existante adhère bien et soit compatible avec le système.

Les éléments de construction métallique exposés revêtus de peinture intumescente doivent être protégés durablement contre les dommages mécaniques. Une distance suffisante doit être respectée avec la peinture de manière à ne pas faire obstacle à l'intumescence<sup>24</sup>.

L'application doit être effectuée sous la surveillance de personnes qui ont obtenu, après examen, un certificat d'applicateur auprès de l'AEAI et qui sont répertoriés dans le Registre de l'AEAI en tant qu'applicateur certifié en systèmes de peinture intumescente. Les applicateurs sont responsables de la bonne application de la peinture intumescente. Le SZS détient aussi un Registre AEAI des applicateurs certifiés en peintures intumescentes ([www.szs.ch](http://www.szs.ch)).

<sup>20</sup> voir notes explicatives, cahiers techniques, etc. de l'AEAI ou des autorités de protection incendie relatifs aux «Peintures intumescentes»

<sup>21</sup> Le formulaire correspondant peut être obtenu auprès du SZS ([www.szs.ch](http://www.szs.ch)).

<sup>22</sup> Répertoire de la protection incendie [3], voir [www.praever.ch](http://www.praever.ch)

<sup>23</sup> selon partie II Dimensionnement

<sup>24</sup> voir les renseignements sur les peintures intumescentes à l'annexe 2

### 5.3 Revêtements

Revêtir les parties métalliques porteuses est une mesure de protection incendie courante. L'inconvénient d'une telle mesure est toutefois que l'acier n'est plus visible.

Les revêtements permettent d'atteindre toutes les durées de résistance au feu exigées. Les produits homologués pour le revêtement se trouvent dans le Répertoire suisse de la protection incendie <sup>25</sup>.

Les éléments de façade, les panneaux de parois et les plafonds suspendus convenablement conçus peuvent servir de revêtement ou d'écran de protection contre l'incendie pour les structures intégrées à ces éléments. En cas d'incendie, où les sollicitations statiques comportent souvent des réserves, ainsi que pour des spécificités géométriques ou autres, il est recommandé de déterminer les épaisseurs des revêtements exigées au moyen d'une vérification par le calcul de la durée de la résistance au feu à l'aide du nomogramme <sup>26</sup>. Il est ainsi possible d'atteindre des épaisseurs de revêtement plus faibles que les valeurs données dans le Répertoire suisse de la protection incendie.

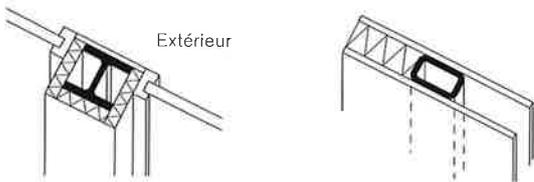


Fig. 16: Façades ou parois servant de revêtement ou écran anti-feu pour les poteaux intégrés

### 5.4 Crépis

Les crépis sont avantageux du point de vue économique et sont très souvent utilisés à l'étranger. Le profilé en acier est isolé selon le contour à l'aide de crépi projeté au pistolet <sup>27</sup>. Les crépis constituent toujours une solution économique lorsque la construction en acier ne doit pas répondre à des exigences esthétiques ou doit être revêtue par la suite.

Dans ce cas-là également, il est possible de déterminer l'épaisseur de couche exigée soit avec le Répertoire suisse de la protection incendie ou par le calcul selon la partie II Dimensionnement. Les crépis homologués se trouvent dans le Répertoire suisse de la protection incendie <sup>28</sup>.

Revêtement par panneaux anti-feu en forme de caissons	adaptés à tous les profils épaisseurs de revêtements typiques:  env. 18 mm pour R 30 env. 30 mm pour R 60 env. 40 mm pour R 90
---	---

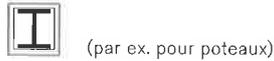


Fig. 13: Revêtements anti-feu



Fig. 14: Hangar d'usine à Dietikon, revêtements anti-feu (Rigips AG)



Fig. 15: Structure en treillis d'un bâtiment d'expositions, revêtements anti-feu (Promat AG)

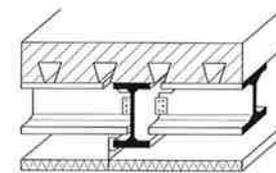


Fig. 17: Faux-plafonds suspendu servant de protection incendie pour les poutres

Protection par crépi épousant la forme du profilé	adaptés à tous les profils épaisseurs de crépis typiques: env. 20 mm pour R 30 env. 30 mm pour R 60 env. 45 mm pour R 90
---	--

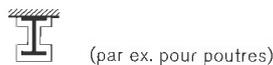


Fig. 18: Crépis projetés au pistolet



Fig. 19: Application de crépi par projection au pistolet sur les poteaux de façade en té, Bâtiment de la Poste à Fribourg

25 [3], voir [www.praever.ch](http://www.praever.ch)

26 voir partie II Dimensionnement

27 voir fig. 18

28 [3], voir [www.praever.ch](http://www.praever.ch)



Fig. 20: Poutre à âme enrobée de béton sur poteau en profil creux rempli de béton



Fig. 21: Bords de profilés apparents, sections spéciales pour poteaux



Fig. 22: Poteaux anti-feu (Tuchschmid-Atlant) dans un garage souterrain



Fig. 23: Poteau Geillinger® résistant au feu avec tête de poinçonnement (Spannverbund Bauesysteme GmbH)



Fig. 24: Dalle mixte acier-bois dans le bâtiment administratif de la représentation du Land de Rhénanie du nord – Westphalie à Berlin

## 5.5 Constructions mixtes acier-béton

Les constructions mixtes acier-béton permettent des durées de résistance au feu de R 90, voire plus. A cet effet, les âmes des poteaux et des poutres de profilés en H sont enrobées de béton, ou les poteaux en profils creux sont remplis de béton, si nécessaire armés ou renforcés avec un noyau en acier plein. La résistance au feu élevée s'obtient grâce à l'interaction statique et thermique favorable entre l'acier et le béton. Le dimensionnement de ces parties de construction, également très performantes à froid et donc élancées, est réglementé dans les Normes SIA <sup>29</sup>. Les Tables de dimensionnement pour la construction mixte SZS steel-work C1/12 constituent un outil de travail pratique comprenant également les données et valeurs de calcul en cas d'incendie [12].

Les constructions mixtes acier-béton permettent une grande liberté de conception, par ex. en laissant les bords des profilés apparents ou avec des sections spéciales. Les renforcements en tête de poinçonnement en acier pour les planchers-dalles en béton atteignent une résistance R 60, même sans protection de l'aile inférieure de la tête (voir fig. 22 et 23).

## 5.6 Constructions mixtes acier-bois

Les structures porteuses en acier peuvent être combinées avec des éléments en bois de grande dimension formant compartiment coupe-feu et utilisés par ex. dans les dalles mixtes «slim floor». L'acier comme élément porteur et le bois (aussi mixte bois-béton) comme élément plan permettent des constructions mixtes élancées et intéressantes des points de vue économique et écologique.

Il est également possible de vérifier par le calcul la résistance au feu des constructions mixtes acier-bois. Ce mode de construction offre des possibilités de développement encore inusitées. L'inflammabilité du bois doit être prise en considération. Pour des renseignements complets sur ce sujet, consultez la Documentation protection incendie de Lignum <sup>30</sup>.

<sup>29</sup> Norme SIA 264:2014, chiffre 4.4 et SIA 264/1:2014 [7,8]. La Norme SIA 264/1 contient des tableaux détaillés pour le dimensionnement à chaud au chiffre 2. Des indications relatives au choix des dimensions des sections sont présentées à l'annexe 1 du présent cahier.

<sup>30</sup> Lignum: Documentation protection incendie: 2.1 Construire en bois – Assurance qualité en protection incendie, 2015 et Documentation protection incendie: 4.1 Eléments de construction en bois – Planchers, parois et revêtements résistant au feu, 2015

### 5.7 Dalles mixtes avec tôle profilée

Les dalles mixtes avec tôle profilée atteignent en règle générale une résistance au feu de 30 minutes sans autres mesures. L'armature minimale exigée pour la protection contre les fissures suffit déjà à atteindre en règle générale R 60. Les dimensions minimales des sections pour REI 30 à REI 180 se trouvent à la figure 25. D'autres renseignements se trouvent dans les Tables de dimensionnement pour la construction mixte SZS steelwork C1/12 avec données et valeurs de calcul pour le dimensionnement à froid et à chaud (en cas d'incendie) [12].

Résistance au feu	Épaisseur exigée $h_{eff}$ [mm]
REI 30	$\geq 60$
REI 60	$\geq 80$
REI 90	$\geq 100$
REI 120	$\geq 120$
REI 180	$\geq 150$

#### Épaisseur de dalle efficace $h_{eff}$ [mm] et domaine d'application

pour  $h_2/h_1 \leq 1,5$ :  $h_{eff} = h_1 + 0,5 h_2 \left( \frac{L_1 + L_2}{L_1 + L_3} \right) + h_3$

pour  $h_2/h_1 \geq 1,5$ :  $h_{eff} = h_1 \left[ 1 + 0,75 \left( \frac{L_1 + L_2}{L_1 + L_3} \right) \right] + h_3$

Domaine d'application:  $h_1 > 40$  mm  
 $h_3$  doit être utilisé avec  $\leq 20$  mm

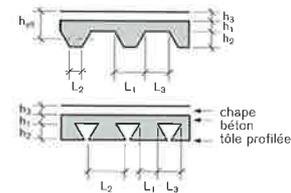


Fig. 25: Critère d'isolation thermique: épaisseur exigée efficace  $h_{eff}$  des dalles mixtes avec tôle profilée, selon [12]

### 5.8 Dalles «slim floor»

Les dalles comprenant des poutres intégrées («slim floor») se distinguent par leur structure élancée. Puisqu'en règle générale seule la semelle inférieure des profilés métalliques est exposée aux effets de l'incendie, il est possible d'atteindre une résistance au feu de R 60 à R 90 par la pose d'une «armature de renfort». Les constructions «slim floor» peuvent être réalisées en combinaison avec des dalles mixtes en tôle profilée, des dalles préfabriquées en béton précontraint ou des éléments en bois préfabriqués. Comme pour les planchers-dalles conventionnels, la libre installation des équipements est garantie. L'annexe 1 présente les portées recommandées des planchers «slim floor» avec éléments de dalle alvéolaires en béton précontraint. Les Tables de dimensionnement pour la construction mixte SZS steelwork C1/12 constituent un outil de travail pratique comprenant également les données et valeurs de calcul en cas d'incendie [12].

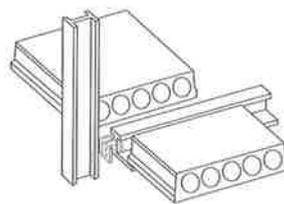
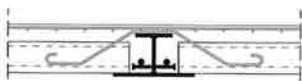


Fig. 26: La tour Swisscom à Winterthur comporte des planchers «slim floor» avec poutres intégrées en acier et poteaux mixtes acier-béton.



Fig. 27: Principe de construction des planchers «slim floor»

### 5.9 Profilés à circulation d'eau

Une mesure rarement utilisée pour atteindre une résistance au feu élevée consiste à refroidir les poteaux et les poutres en profils creux avec de l'eau. Cette solution permet d'évacuer la chaleur en cas d'incendie au moyen de l'eau qui circule dans le système porteur.

Fig. 28: Cet immeuble à Hanovre possède une structure porteuse à circulation d'eau. En cas d'incendie, l'eau circule dans le bâtiment et refroidit l'acier.



## 6 Concepts de construction spécifiques

Grâce à des mesures constructives adéquates, il est possible de construire des structures porteuses en acier en grande partie non protégées. Les systèmes redondants et les redistributions des efforts permettent que l'ensemble de la structure porteuse ne s'effondre pas sous l'effet de l'incendie, même en cas d'apparition de grandes déformations de certains éléments de construction.

### 6.1 Différenciation entre éléments porteurs et éléments non porteurs

Les éléments porteurs, nécessaires pour supporter et reporter la charge ainsi que pour la stabilisation doivent répondre, comme l'ensemble de leurs assemblages, à une résistance au feu exigée. Les éléments secondaires (par ex. les balustrades, les caillebotis, les traverses de cloison, les éléments porteurs des galeries et des escaliers) sans influence sur le comportement porteur global de l'ouvrage et sans fonction de compartiment coupe-feu peuvent rester sans protection.

### 6.2 Systèmes redondants

Les systèmes redondants, comme par ex. les contreventements de stabilisation doubles permettent la défaillance de certains éléments en cas d'incendie sans que cela ne conduise à l'effondrement de l'ensemble du système porteur. Des structures porteuses supplémentaires (qui apportent de la robustesse à l'ensemble) et un examen détaillé de la situation de projet incendie permettent de renoncer à d'autres mesures de protection incendie.

### 6.3 Joints de dilatation et points de rupture

En cas d'incendie, les joints de dilatation et les points de rupture permettent une dilatation thermique sans contrainte et empêchent en cas de défaillance potentielle de certaines poutres que les éléments de construction adjacents encore porteurs ne soient entraînés dans la chute.



Fig. 29: Bâtiment commercial à Lausanne avec poteaux de façades suspendus. Dans les bâtiments réellement suspendus, où les poteaux de façade ne peuvent transmettre aucune force vers le bas, la structure de suspension doit également être protégée contre le feu dans le dernier étage.

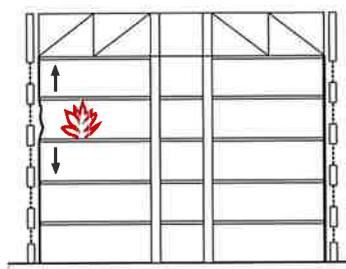


Fig. 30: Structure porteuse redondante: Les poteaux de façades sans protection et élançés sont exécutés de manière à être résistants à la compression et à la traction. Si les poteaux d'un étage viennent à défaillir en cas d'incendie, les poteaux situés en dessous et en dessus prennent en charge les forces [17].

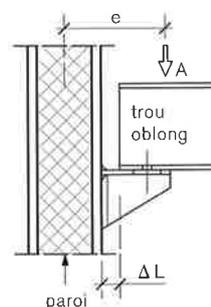


Fig. 31: Appui de poutre avec joint de dilatation et point de rupture dans la paroi formant compartiment coupe-feu.

## 6.4 Effet membrane

Grâce à l'utilisation de l'effet membrane des dalles en béton ou mixtes avec tôle profilée, les poutres secondaires (solives) en acier de ces systèmes de plancher peuvent être laissées sans protection. Seules les poutres de rive de ces champs membranaires doivent être protégées, par exemple par un enrobage en béton de l'âme, par une peinture intumescente ou par un revêtement. D'importantes économies sur les coûts de la protection incendie sont possibles dans ce cadre. Pour plus de détails, voir les Tables de dimensionnement pour la construction mixte SZS steelwork C1/12 [12].

L'effet membrane des dalles mixtes a été attesté dans les années 1990 par des essais au feu sur un bâtiment à huit niveaux (immeuble test à Cardington au Royaume-Uni). Les poutres en acier non protégées ont formé un champ membranaire avec la dalle mixte, qui a pu absorber les charges existantes. Cet effet a conduit à une procédure de dimensionnement qui utilise les réserves statiques de l'effet membrane des dalles mixtes et des poutres mixtes en cas d'incendie <sup>31</sup>.

## 6.5 Structure porteuse à l'extérieur

Les structures porteuses en acier situées à l'extérieur sont en majeure partie à l'écart de la chaleur de l'incendie de sorte qu'elles peuvent en règle générale rester sans protection <sup>32</sup>. Toutefois, face aux fenêtres et aux autres ouvertures, elles doivent présenter une distance suffisante ou être protégées pour résister au feu. En outre à froid, les ponts thermiques doivent être pris en considération.



Fig. 34: Les poteaux extérieurs de l'école professionnelle artisanale et industrielle GIBB à Berne



Fig. 35: La Ferriera, bâtiment administratif de 5 étages à Locarno, avec structure porteuse extérieure (Prix acier 2005)

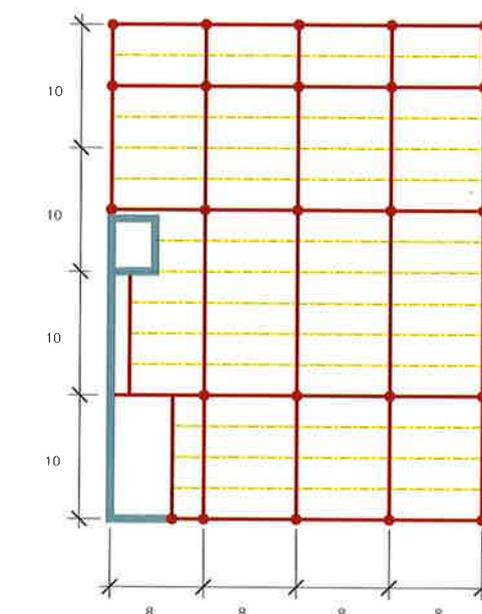


Fig. 32: Exemple, plancher intermédiaire R 60: dalle mixte avec champs membranaires (vue en plan); seuls les poteaux et les poutres en rouge sont protégés contre le feu.



Fig. 33: Effet membrane des dalles mixtes et des poutres mixtes lors d'un des tests à Cardington

<sup>31</sup> Pour plus de détails, voir les Tables de dimensionnement pour la construction mixte SZS steelwork C1/12 [12], la publication SZS C2.6 [13]

ainsi que la publication SCI-P288 «Fire safe design» [14].

<sup>32</sup> Pour le dimensionnement, voir partie II, section 6.2.

## 7 Mesures techniques de protection incendie

### 7.1 Utilisation d'installations d'extinction



Fig. 36: Têtes sprinklers

Parmi les équipements de protection incendie, les installations d'extinction sont désormais incontournables. Jadis plutôt réservées à l'industrie et à l'artisanat, elles se révèlent très utiles dans de nombreux autres domaines. Cet équipement permet de maintenir à un niveau élevé la sécurité des personnes et la protection des biens.

L'utilisation d'installations d'extinction empêche que le feu ne se transforme en incendie généralisé, permettant ainsi qu'aucune exigence en matière de résistance au feu de la structure porteuse ne soit véritablement nécessaire. Par extension, elles préviennent la propagation du feu et permettent des compartiments coupe-feu plus grands.

#### Effet sur la structure porteuse

Les sprinklers préviennent efficacement la défaillance d'une construction en acier parce que les températures n'atteignent pas le niveau à partir duquel l'acier perd sa résistance. Les installations sprinklers peuvent par conséquent être prises en compte lors de la détermination de la résistance au feu des structures porteuses et des parois et dalles formant compartiment coupe-feu. Dans les concepts standard, une réduction de 30 minutes de la résistance au feu exigée est accordée pour la plupart des affectations sans justification par le calcul par rapport au concept de protection incendie constructif (cf. fig. 5). Dans le cadre de concepts orientés vers la performance avec vérification par calcul et en tenant compte de toutes

les exigences procédurales et des mesures d'assurance qualité, la protection par sprinklers peut également conduire à une réduction supplémentaire de la résistance au feu exigée.

#### Optimisation des coûts

Les coûts liés au montage d'une installation d'extinction sont relativement modérés puisqu'il faut compter env. 20 à 30 CHF/m<sup>2</sup> (y c. la centrale sprinklers). Les sprinklers réduisent également les coûts consécutifs à un incendie et protègent efficacement le bâtiment, les personnes et les biens. De plus, en minimisant les conséquences d'un incendie, on réduit d'autant plus le délai de remise à disposition des locaux sinistrés. La plupart des assureurs accordent en outre aux détenteurs d'installations d'extinction des primes relativement favorables et fournissent même une contribution pour les coûts d'investissement.

### 7.2 Autres mesures techniques de protection incendie

D'autres mesures techniques de protection incendie telles que la réduction de l'oxygène ou la libération de gaz d'extinction empêchent l'embrasement généralisé. Les installations de détection d'incendie permettent de détecter précocement un incendie, d'alarmer les utilisateurs et les sapeurs-pompiers et contribuent à une extinction plus rapide du feu. Les mesures techniques de protection incendie font partie intégrante d'un concept global de protection incendie et peuvent améliorer grandement la sécurité incendie.

## 8 Etude de la protection incendie dans la pratique

### 8.1 Modalités de sélection des solutions de protection incendie

Pour la sélection des solutions de protection incendie, le procédé suivant a fait ses preuves:

1. Définir le projet de construction, fixer la convention d'utilisation
2. Identifier les situations de projet, fixer les objectifs de protection
3. Etablir les concepts standard selon les Prescriptions de l'AEAI [1]
  - définir un concept constructif
  - définir un concept de protection par extinction
4. Evaluer les concepts standard:
  - les objectifs de protection sont-ils atteints?
  - les souhaits d'utilisation sont-ils compatibles avec les concepts standard?
5. Vérifier éventuellement les concepts orientés vers la performance:
  - optimiser les variantes
  - contact avec l'autorité de protection incendie
6. Etablir des plans de protection incendie
7. Autorisation de construire
  - Approbation des écarts éventuels par rapport au concept standard
8. Exécution et assurance qualité
9. Réception et contrôles finaux
10. Surveillance et entretien

## 8.2 Critères de sélection quant aux choix des concepts

- Flexibilité et liberté d'utilisation
- Délais (étude, autorisation, exécution)
- Robustesse et entretien
- Comparaison des coûts

## 8.3 Comparatif des coûts des solutions de protection incendie

- Coûts de l'étude
- Coûts d'investissement pour mesures de protection incendie (I): résistance au feu des compartiments coupe-feu et des systèmes porteurs, portes, clapets, détecteurs d'incendie, sprinklers, postes incendie, installations d'extraction de fumées et de chaleur, etc.
- Coûts d'investissements liés aux adaptations du concept (I): Distances aux bâtiments, choix des matériaux, escaliers, couloirs, compartiments coupe-feu, etc.
- Coûts d'exploitation pour le personnel (Ex): Chargé de sécurité, sapeurs-pompiers d'entreprise, formation, contrôles, exercices, etc.
- Coûts d'exploitation pour l'entretien (Ex): installation de détection d'incendie, installation sprinklers, peintures intumescentes, clapets, obturations, installations d'extraction de fumées et de chaleur, etc.
- Coûts d'exploitation liés à des complications (Ex): petits compartiments coupe-feu, portes, limitations de la charge thermique, etc.

- Coûts d'exploitation liés à la transmission de l'alarme (Ex): liaisons spécialisées, centrales d'alarme, etc.)
- Coûts liés à l'assurance (primes) (P): Les assurances couvrent idéalement l'ensemble des dommages attendus causés par un incendie (dommages matériels au bâtiment, au contenu, et pour perte d'exploitation, dommage à l'image et lié à l'accès au marché)
- Coûts d'amortissement (A): Coûts d'investissement/durée de vie
- Economies possibles (Ec): Rabais de primes (immeuble, mobilier, responsabilité civile, interruption d'exploitation, etc.), prévention des erreurs lors de la construction (assurance qualité stricte et contrôles de la protection incendie ont un effet positif sur la qualité de la construction)

La minimalisation des coûts récurrents chaque année constitue une base de décision usuelle:

$$\text{Coût} = \sum (\mathbf{I}) \times \text{taux d'intérêt} + \sum (\mathbf{Ex}) + \sum (\mathbf{P}) + \sum (\mathbf{A}) - \sum (\mathbf{Ec})$$

En matière de dommages attendus liés à l'incendie qui ne sont pas couverts par les assurances, les risques sont saisis comme risques supplémentaires, selon le rapport:

$$\text{Risque} = \text{dommages} \times \text{probabilité de survenance}$$

La fréquence de survenance est, selon les valeurs empiriques suisses, simplifiée à 1 incendie par an par million de m<sup>2</sup> de surface utile [20].

## 8.4 Coûts approximatifs des mesures de protection incendie

Mesures	Coûts d'investiss. en années CHF/m <sup>2</sup>	Durée de vie en années	Coûts d'exploitation et d'entretien	Rabais de primes
Revêtement R 30	40–80	50–100	---	
Revêtement R 60	60–140	50–100	---	
Peinture intumescente R 30	35–60	20–50	<0.5% des coûts d'investissement	
Peinture intumescente R 60	80–180	20–50	<0.5% des coûts d'investissement	
Détection d'incendie Nouvelle installation	15–25	15–25	2–4% des coûts d'investiss. Ligne louée env. CHF 1'500/an	5–35%
Détection d'incendie Assainissement	25–35	15–25	2–4% des coûts d'investiss. Ligne louée env. CHF 1'500/an	5–35%
Installation sprinklers Nouvelle installation	20–35	50–100	<0.5% des coûts d'investiss. Ligne louée env. CHF 1'500/an	40–80%
Installation sprinklers Assainissement	30–45	50–100	<0.5% des coûts d'investiss. Ligne louée env. CHF 1'500/an	40–80%

Fig. 37: Coûts supplémentaires approximatifs des mesures de protection incendie par rapport à une exécution sans protection

## 9 Exemples d'ouvrage

### 9.1 Nouveau siège mondial de la Fédération internationale de basketball

#### Concept

La conception architecturale part d'une lecture du territoire qui exprime une trame paysagère des cordons boisés s'étirant du Jura au lac Léman. Cette structure ramifiée, reprise par le bâtiment, évoque une main, identité visuelle de la FIBA.

#### Structure

La zone d'accueil au rez-de-chaussée est libre de porteurs sur 1'000 m<sup>2</sup>. Cette exigence a mené à la conception d'une structure porteuse audacieuse de type bâtiment-pont avec des portées de 30 m et des parties en porte-à-faux de plus de 10 m. Ainsi un système de treillis mixtes acier-béton utilisant la hauteur complète du 1<sup>er</sup> étage permet de franchir les espaces de l'accueil.

Les éléments treillis sont issus d'une réflexion de densification d'un système élémentaire, de treillis en V, optimisé par l'orientation et l'espacement des diagonales suivant l'analogie des contraintes d'effort principales. Les treillis hyperstatiques rappellent le filet d'un panier de basket, tout en exprimant une structure efficace et en même temps expressive, où les multiples diagonales tendues stabilisent celles comprimées.

Les planchers présentent une structure mixte, composée d'un profil en double-té et d'une dalle en béton armé de 30 cm d'épaisseur. Le comportement mixte a permis d'augmenter la rigidité de la structure d'un facteur 3 (long terme) à 7 (court terme).

#### Concept de protection incendie

Le concept de protection incendie prévoit la vérification «à chaud» des éléments porteurs pour divers scénarios de feu naturel généralisé et localisé. La notion de durée de résistance au feu n'est plus applicable car le calcul considère l'intégralité de l'action thermique de l'incendie. Le calcul de l'évolution de température des gaz en fonction du temps en situation de feu généralisé est effectué à l'aide de logiciels prenant en considération la charge thermique spécifique et les paramètres propres de chaque compartiment. La température issue du feu localisé se base sur la méthode Vassart-Zanon et Heskestad. Sur la base de température des gaz, la température de l'acier est déterminée de manière numérique. Le dimensionnement «à chaud» est effectué selon les méthodes analytiques de la norme SIA et de l'Eurocode; il prend en compte la réduction de la résistance et de la rigidité en fonction de la température. Les scénarios dus au feu généralisé sont moins contraignants que des scénarios à feu localisé. Ces derniers comportent la ruine isolée des diagonales du treillis métallique. Au vu de la grande capacité du treillis hyperstatique à redistribuer les efforts en cas de faiblesse locale, la structure porteuse maintient la stabilité d'ensemble et la sécurité structurale n'est pas mise en danger. Les vérifications effectuées apportent la preuve par calcul que la structure porteuse résiste au feu naturel sans avoir recours à aucune protection externe telle que revêtements ou peinture intumescente. .



Fig. 38: Maquette



Fig. 39: Hall of Fame



Fig. 40: Hall of Fame

**Nom de l'ouvrage** Nouveau siège mondial de la Fédération internationale de basketball  
**Localité** Mies, Vaud  
**Dimensions L x L x H** 53/47/11 m (64/50/14 m)  
**Volume** 20'115 m<sup>3</sup>  
**Structure en acier** 185 to  
**Affectation** Bureaux, espace public  
**Nombre de niveaux** 4 (1SS, 3HS)  
**Surface d'étage** 1'600 m<sup>2</sup>, total : 7'000 m<sup>2</sup>  
**Résistance au feu** 100% feu naturel au lieu de R60  
**Solution de protection incendie** Justification avec fire modelling, Installation sprinklers, détecteurs d'incendie, extracteur de fumée et chaleur, postes d'incendie  
**Maître de l'ouvrage** IBF (International Basketball Foundation)  
**Architecte** Lüscher Architectes SA, Lausanne  
**Ingénieur civil** INGENI SA, Genève  
**Etude de la protection incendie** INGENI SA, G. Guscetti / F. Snozzi; ETHZ, Prof. Dr. M. Fontana; Arcelormittal, Dr. O. Vassart  
**Entreprise construction métallique** Sottas SA, Bulle  
**Entreprise de maçonnerie** INDUNI & Cie SA, Nyon  
**Année de construction** 2010 – 2013  
**Attribution** Concours

## 9.2 Construction de deux halles industrielles et artisanales à Puidoux

Les deux bâtiments à usages multiples, réalisés par la société Procimmo SA à Puidoux, servent d'exemple pour le concept de protection incendie par ouvrage. Ces deux bâtiments, de deux niveaux chacun en construction mixte acier-béton, ont une surface totale de plancher de près de 12'000 m<sup>2</sup>. Ils sont destinés à des activités variées d'exigences diverses, comme du stockage, des bureaux, des ateliers et de l'artisanat. Ces surfaces comprises entre 100 m<sup>2</sup> et la totalité de la halle peuvent être louées par des entreprises ou des particuliers. Le bâtiment A mesure 51 m de long, 35 m de large et 10 m de hauteur. Le bâtiment B est beaucoup plus grand et mesure 114 m de long, 37 m de large et 10 m de hauteur.

### Concept de protection incendie

Le concept de protection incendie est basé sur les différentes directives AEAI pour un bâtiment à affectation inconnue. Celles-ci préconisent, comme mesure principale, une résistance au feu des structures porteuses R 60 et une résistance REI 60 pour le plancher mixte.

Comme l'affectation de ces locaux n'est pas connue lors de la construction, un calcul avec des scénarios de feux naturels n'est pas envisageable. En effet, ni la géométrie des compartiments et ni les charges thermiques ne sont connues. C'est pourquoi dans le cas présent la courbe de feu ISO 834 «standard» a été choisie pour la suite de la vérification.

### Justification de la résistance au feu

La justification de la résistance au feu se déroule en différentes étapes:

- 1 Lors de la première phase d'étude, le choix de la protection s'est porté sur une peinture intumescente R 60, sur l'ensemble de la charpente métallique supportant le plancher mixte.
- 2 Lors de la phase d'étude, une optimisation a eu lieu sur la base de l'effet porteur global. En prenant en compte l'effet membrane, il a été prouvé que les poutres secondaires peuvent être laissées sans protection, tout en garantissant une résistance REI 60 du plancher.
- 3 Pour éviter la problématique de l'endommagement de la peinture intumescente par des chocs sur les poteaux, une solution mixte acier-béton a été utilisée. Cette option simple à réaliser consiste en un remplissage partiel du profilé en double-té, avec la mise en place d'une armature supplémentaire.

Les optimisations ci-dessus ont permis d'économiser une grande quantité de peinture intumescente, sans réduire pour autant la sécurité.

**Emplacement** Zone industrielle «Le Verney», Puidoux

**Maitre de l'ouvrage** Procimmo SA, Le Mont-sur-Lausanne

**Architecte** Patrick Giorgis bureau d'architecture SA, Lausanne

**Direction des travaux** Procimmo SA, Le Mont-sur-Lausanne

**Ingénieur civil** Bureau d'ingénieurs civils Daniel Willi SA, Montreux

**Etude de la protection incendie** Olivier Burnier, Bureau d'ingénieurs civils Daniel Willi SA, Montreux

**Entreprise de construction métallique** Berisha construction métallique SA, Roche

**Année de construction** 2014



Fig. 41: Vue extérieure de la halle à usages multiples



Fig. 42: Structure porteuse en acier: poutres blanches avec peinture intumescente



Fig. 44: Dalle mixte acier-béton avant le bétonnage



Fig. 43: Structure porteuse en acier: détail de l'assemblage du nœud

## 9.3 Autres ouvrages

<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>Tour de la foire</b>
<b>Localité</b>	Bâle
<b>Dimensions LxLxH</b>	Bâtiment élevé: 40/20/105 m Saillie: 60/20/12 m
<b>Structure en acier</b>	Poteaux de façades en RND, poutres de rive en mixte avec dalle béton, 2'500 t
<b>Affectation</b>	Bureaux, hôtel, business center, restaurant, salles de conférence, bar VIP au 31 <sup>ème</sup> étage
<b>Nombre de niveaux</b>	31
<b>Surface d'étage</b>	Total: 38'000 m <sup>2</sup>
<b>Résistance au feu</b>	Bâtiment élevé R 90, saillie R 60
<b>Solution de protection incendie</b>	Poteaux avec noyau RND; ailes de la poutre en partie revêtues, âmes enrobées de béton du côté des façades; éléments restants couche intumescente R 60
<b>Maître de l'ouvrage</b>	Swiss Prime Site AG, Olten
<b>Architecte</b>	Morger & Degelo AG, Bâle; Marques AG, Lucerne
<b>Ingénieur civil</b>	WGG Schnetzer Puskas Ingenieure AG, Bâle
<b>Etude de la protection incendie</b>	Institut für Baustatik und Konstruktion, EPFZ Zurich
<b>Entreprise construction métallique</b>	Josef Meyer Stahl + Metall AG, Emmen
<b>Année de construction</b>	2003



<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>Agrandissement de la cour Jelvoli</b>
<b>Localité</b>	Zurich
<b>Dimensions LxLxH</b>	35/20/25 m
<b>Structure en acier</b>	Dalle mixte, poutre mixte, poteaux mixtes en profil creux, 440 t
<b>Affectation</b>	Réz - 4 <sup>ème</sup> étage: magasins; 5 <sup>ème</sup> étage: fitness; 6 <sup>ème</sup> étage: technique
<b>Nombre de niveaux</b>	7
<b>Surface d'étage</b>	Surface de vente 3'100 m <sup>2</sup>
<b>Résistance au feu</b>	R 60
<b>Solution de protection incendie</b>	Combinaison avec protection et couche intumescente
<b>Maître de l'ouvrage</b>	Jelmoli AG, Zurich
<b>Architecte</b>	Tilla Theus und Partner AG, Zurich
<b>Ingénieur civil</b>	Henauer Gugler, Zurich
<b>Etude de la protection incendie</b>	Collaboration équipe de concepteurs-projeteurs et police du feu
<b>Entreprise construction métallique</b>	H. Wetter AG, Stetten
<b>Année de construction</b>	2003



<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>La Ferriera</b>
<b>Localité</b>	Locarno
<b>Dimensions LxLxH</b>	51/38/23 m
<b>Structure en acier</b>	Grillage extérieur tridimensionnel, poutres HEB, 960 t
<b>Affectation</b>	Bureaux, commerces
<b>Nombre de niveaux</b>	5 + 2 sous-sols
<b>Surface d'étage</b>	1'300 m <sup>2</sup>
<b>Résistance au feu</b>	icb / R 30
<b>Solution de protection incendie</b>	Installations sprinklers, détecteurs d'incendie, couche intumescente, justification avec fire modelling
<b>Maître de l'ouvrage</b>	Swiss Life, Zurich
<b>Architecte</b>	Livio Vacchini, Locarno
<b>Ingénieur civil</b>	Andreotti & Partners, Locarno
<b>Etude de la protection incendie</b>	Istituto di Sicurezza, Lugano
<b>Entreprise construction métallique</b>	Mauchle Metallbau AG, Sursee
<b>Année de construction</b>	2003



<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>Dôme de l'université</b>
<b>Localité</b>	Zurich
<b>Dimensions LxLxH</b>	34/15/8,2 m
<b>Structure en acier</b>	Poutres en caisson voûtées, 108 t
<b>Affectation</b>	Cour intérieure, bibliothèque
<b>Nombre de niveaux</b>	-
<b>Surface d'étage</b>	-
<b>Résistance au feu</b>	R 30
<b>Solution de protection incendie</b>	Couche intumescente
<b>Maître de l'ouvrage</b>	Hochbauamt, Baudirektion canton de Zurich
<b>Architecte</b>	Calatrava Valls SA, Zurich
<b>Ingénieur civil</b>	Calatrava Valls SA, Zurich
<b>Etude de la protection incendie</b>	En collaboration avec la police du feu
<b>Entreprise construction métallique</b>	Tobler Stahlbau AG, St-Gall
<b>Année de construction</b>	2004



<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>Nouveau siège Headquarter de Ski Frame</b>
<b>Localité</b>	Frauenfeld
<b>Dimensions LxLxH</b>	92.6 m x 45.8 m x 18.8 m
<b>Structure en acier</b>	Bâtiment principal: dalles mixtes sur rez et 1 <sup>er</sup> étage, construction métallique 2 <sup>ème</sup> étage (640 t); Brise soleil: construction métallique rapportée (130 t); Halle à palettisation: construction métallique combinée avec les rayonnages (185 t)
<b>Affectation</b>	Sous-sol: parking souterrain, rez et 1 <sup>er</sup> étage: production, 2 <sup>ème</sup> étage: bureaux et showroom
<b>Nombre de niveaux</b>	3
<b>Surface d'étage</b>	(SIA 416) = 11'330 m <sup>2</sup>
<b>Résistance au feu</b>	Selon solution de protection incendie
<b>Solution de protection incendie</b>	Concept de protection orienté vers la performance pour la structure porteuse et les parois de la halle à palettisation basé sur une protection complète par sprinklers et un effet de raidissement des planchers mixtes.
<b>Maître de l'ouvrage</b>	Gubeo Immobilien AG
<b>Architecte</b>	Peter Kunz Architektur, Winterthur
<b>Ingénieur civil</b>	Borgogno Eggenberger + Partner AG, St. Gallen
<b>Etude de la protection incendie</b>	Braun Brandsicherheit AG, Winterthur
<b>Entreprise construction métallique</b>	Aepfli Stahlbau AG, Gossau SG
<b>Année de construction</b>	Achèvement des travaux: Dezember 2014



<b>Nom de l'ouvrage</b>	<b>Toni Areal</b>
<b>Localité</b>	Zurich
<b>Dimensions LxLxH</b>	215/100/max.75m
<b>Structure en acier</b>	Renforcement, surélévation sur socle: 4'200 t
<b>Affectation</b>	Zürcher Hochschulen für Angewandte Wissenschaften und der Künste, logements locatifs
<b>Nombre de niveaux</b>	max. 11
<b>Surface d'étage</b>	brute 125'000 m <sup>2</sup>
<b>Résistance au feu</b>	R 60 / R 90
<b>Solution de protection incendie</b>	Nouveaux planchers: méthode membranaire; poteaux: peinture intumescente poteaux mixtes; exigences: R 60 (bâtiment bas) / R 90 (bâtiment élevé)
<b>Maître de l'ouvrage</b>	Allreal Toni AG / Allreal GU AG, Zurich
<b>Architecte</b>	EM2N Architekten AG, Zurich
<b>Ingénieur civil</b>	Walt + Galmarini AG, Zurich
<b>Etude de la protection incendie</b>	Gruner AG, Basel
<b>Entreprise construction métallique</b>	Zwahlen & Mayr SA, Glattbrugg
<b>Année de construction</b>	2014



# 1 Dimensionnement en cas d'incendie et vérification de la résistance au feu

La vérification de la résistance au feu <sup>1</sup> peut être effectuée soit sur la base de la classification selon le Registre suisse de protection incendie <sup>2</sup>, soit au moyen d'une vérification par le calcul sur la base des normes SIA ou de l'Eurocode. Les présentations ci-après se basent sur les principes <sup>3</sup> énoncés dans l'annexe 4. Selon les Normes SIA 260/261 et SIA 263/264, la sécurité structurale est vérifiée comme suit:

### Cas normal «à froid»

$E_d \leq R_d$	SIA 260, chiffre 4.4.3.3
$E_d$	SIA 260, chiffre 4.4.3.4
$\gamma_{M1} = 1.05$	SIA 263, chiffre 4.1.3

### Cas normal «à chaud»

$E_{d,fi} \leq R_{d,fi,\Theta}$	SIA 263, chiffre 4.8
$E_{d,fi}$	SIA 260, chiffre 4.4.3.5
$\gamma_{M,fi} = 1.0$	SIA 263, chiffre 4.8.1.2

## 1.1 Vérification simplifiée

### Vérification sans calcul du taux de sollicitation

Sans justification plus précise, on admet habituellement pour les homologations de protection incendie des parties de constructions une température critique de 500 °C. On parle également, dans ce cas, de classification. Pour les peintures intumescentes et les revêtements de protection incendie, le Répertoire suisse de la protection incendie <sup>2</sup> mentionne les épaisseurs de couches exigées sur cette base, en fonction des produits, de la forme des profilés et du facteur de massivité.

## 1.2 Vérification affinée

### Vérification avec calcul du taux de sollicitation

En principe, la résistance au feu peut être vérifiée en situation d'incendie au moyen du taux de sollicitation avec:

$$\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$$

Alternativement, la vérification des éléments de construction soumis à la traction et des poutres fléchies, située du côté de la sécurité, peut être effectuée avec le taux d'utilisation  $\mu_0 = \mu_{fi}$  avec  $\mu_{fi} = E_{d,fi} / E_d$  pour autant que les problèmes de stabilité tels que le flambage, le déversement ou le flambage par flexion et torsion ne soient pas déterminants.

Etant données les exigences du dimensionnement à froid pour les bâtiments d'habitation et administratifs, le taux d'utilisation  $\mu_{fi} = E_{d,fi} / E_d$  se situe en général au-dessous de 0.65. Pour  $\mu_{fi} = \mu_0 = 0.65$ , on obtient par ex. une température critique de 510 °C à 630 °C selon le coefficient d'adaptation  $\kappa$  qui tient compte de la répartition inégale de la température dans les poutres (voir section 2.1).

En comparant les deux formules de vérification pour le dimensionnement «à froid» et «à chaud» et l'introduction des

facteurs de charge utilisés pour  $E_d$  resp.  $E_{d,fi}$ , il en résulte que le rapport  $E_d/E_{d,fi}$  est généralement bien supérieur à 1,5. Par conséquent, il résulte des réserves de capacité portante inexploitées en situation d'incendie. La température critique est donc nettement plus élevée que la valeur d'environ 500 °C qui sert à la classification.

Quand les conditions statiques en cas d'incendie, avec les sollicitations correspondantes  $E_{d,fi}$  (selon norme SIA 260) sont prises en compte, des économies deviennent possibles par rapport à la vérification simplifiée avec des parties de construction classifiées selon le Répertoire suisse de la protection incendie <sup>2</sup>. Le mode de calcul à utiliser dans ce cas est présenté ci-dessous.

### Mode de calcul

Les Normes SIA 260 et 263 <sup>4</sup> permettent la vérification de la sécurité structurale pour l'incendie comme action accidentelle sous la forme

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi,\Theta} \quad \text{mit} \quad \gamma_{M,fi} = 1.0$$

La valeur de calcul de la sollicitation  $E_{d,fi}$  est déterminée selon la norme SIA 260 chiffre 4.4.3.5, et cela en règle générale avec la formule

$$E_{d,fi} = E \{ G_k, A_d, \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \}$$

$G_k$	valeur caractéristique des actions permanentes
$\psi_{2i}$	coefficient de réduction pour les actions quasi permanentes (SIA 260, annexe A)
$Q_{ki}$	valeur caractéristique d'une action variable
$A_d$	valeur de calcul de l'action accidentelle incendie, y compris sollicitation due aux déformations

Dans le nomogramme (voir chapitre 2) le taux de sollicitation calculé d'une partie de construction est donné par:

$$\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$$

$E_{d,fi}$	valeur de calcul de la sollicitation en cas d'incendie selon Norme SIA 260
$R_{d,fi,t=0}$	valeur de calcul de la résistance ultime en début d'incendie, c.-à-d. au temps $t = 0$ , à température ambiante $\Theta = 20$ °C, mit $\gamma_M = \gamma_{M,fi} = 1.0$ pour le système porteur en situation d'incendie

Le coefficient d'adaptation  $\kappa$  pour répartition inégale de la température est pris en compte dans le nomogramme (voir fig. 54) au travers de courbes de résistance du matériau adaptées. Lors du calcul du niveau de température avec la formule approchée (voir exemple F) on doit donc utiliser  $\mu_0 = \mu_{fi} \kappa$  resp.  $\mu_0 = \mu_{fi,t} \kappa$ .

1 Directive de protection incendie 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu», art. 4.3 [1]

2 [3], voir [www.praever.ch](http://www.praever.ch)

3 Normes SIA [4,5,6,7] (Swisscodes, voir [www.sia.ch](http://www.sia.ch)), Eurocodes [9, 10]

4 [4,6] (Swisscodes), voir [www.sia.ch](http://www.sia.ch)

Fig. 45: Encastrement des poteaux en cas d'incendie

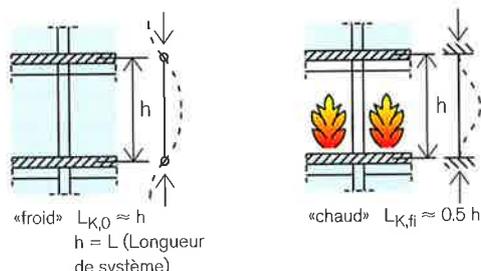
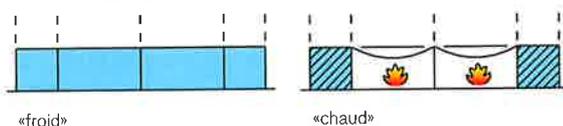


Fig. 46: Effet de membrane porteuse en cas d'incendie



Les résistances ultimes  $R_{d,fi,t=0}$  sont déterminées dans cette vérification affinée pour les systèmes statiques souvent plus favorables en cas d'incendie, comme le montrent à titre d'exemples les figures 45 et 46.

En cas d'incendie on peut généralement admettre un encastrement des poteaux continus dans les zones rigides des étages froids adjacents (c.-à-d. en général  $L_{K,fi} = 0.5 L$ ,  $L_{K,fi} = 0.7 L$  pour les poteaux du dernier étage, resp. de l'étage inférieur).

L'élévation des températures durant un incendie entraîne une dilatation des parties de construction. Normalement, les sollicitations consécutives à une dilatation empêchée des poteaux sont négligeables, notamment dans les systèmes de cadres en acier et en construction mixte, ainsi

qu'en cas de parois non portantes en maçonnerie. Mais lorsque des murs en béton ou des systèmes de contreventements verticaux forment des voiles rigides continus sur plusieurs travées, il faut examiner les poteaux qui se trouvent au-dessous. Les dilatations de poutres doivent être prises en compte lorsqu'elles pourraient porter atteinte au compartimentage coupe-feu ou le mettre en danger; dans les autres cas, elles sont généralement sans importance.

Pour les poutres et dalles, on peut, en cas d'incendie, tenir compte d'un effet positif de membrane porteuse si les forces horizontales résultantes sont reprises dans des parties froides ou protégées. Les dalles mixtes en particulier présentent ce grand avantage, de sorte que les poutres secondaires peuvent souvent être laissées sans protection [14].

### Vérification pour les assemblages

En principe, les assemblages sont protégés contre l'incendie de la même manière, ou avec la même efficacité, que les parties de construction assemblées. Des goussets, raidisseurs, couvre-joints et plaques frontales épaisses augmentent considérablement la massivité des parties de construction dans la zone d'assemblage, si bien qu'en général aucune vérification particulière de la résistance au feu n'est nécessaire (voir la Norme SIA 263, chiffre 4.8.6). La résistance au feu des différents types d'assemblage d'éléments en construction mixte sont présentées dans la publication SZS C1/12 [12].

## 2 Nomogramme

Le mode de calcul pour la vérification de la résistance au feu de poteaux et poutres en acier avec et sans revêtement, sur la base de l'EN 1993-1-2 [10] est exposé ci-dessous.

### 2.1 Principes du calcul

#### Température de l'acier

Pour l'échauffement d'une construction en acier soumise au feu, les facteurs suivants sont importants:

- Le facteur de massivité ( $A_m/V$ ) qui exprime le rapport entre la surface exposée au feu et le volume d'un profilé en acier. Pour une section constante, le facteur de massivité est identique au rapport entre la surface (périmètre) soumis au feu et l'aire de la section ( $U/A$ ). La manière de le déterminer et les valeurs des profilés usuels sont indiqués à la section 2.4 et à l'annexe 3.
- Propriétés thermiques des éventuels revêtements: La conductibilité thermique  $\lambda_p$  [ $W/(m \cdot K)$ ], la capacité thermique  $c_p$  [ $J/(kg \cdot K)$ ] et l'épaisseur  $d_p$  [m]. La section 2.3 contient des données générales pour divers matériaux.

D'autres données liées au produit ne sont utilisables que si elles émanent d'essais au feu effectués par des instituts de recherche officiels.

- Teneur en eau des revêtements: Pour les revêtements renfermant de l'eau, l'élévation de la température est retardée à partir de 100 °C, par suite de la vaporisation de cette eau dans le revêtement (voir exemple A, section 3.1).

#### Propriétés thermo-mécaniques à hautes températures

Les propriétés de l'acier de construction dépendent de la température (voir fig. 4). Avec l'élévation de sa température, la résistance ultime d'une partie de construction diminue. Lorsque la résistance ultime correspond à la valeur de la sollicitation en cas d'incendie, ce que l'on nomme température  $\Theta_{crit}$  est alors atteinte (voir partie I, section 4.2). Comme le montrent les exemples d'application du chapitre 3, la température critique dépend du taux de sollicitation  $\mu_{fi,t}$  en cas d'incendie.

#### Répartition des températures

Des coefficients d'adaptation  $\kappa$ , déduits par comparaison aux essais en four, tiennent compte d'une température non

uniforme en section ( $\kappa_1$ ) et sur la longueur des éléments ( $\kappa_2$ ) lors du calcul des poutres.  $\kappa = \kappa_1 \cdot \kappa_2$

Les coefficients d'adaptation  $\kappa_1$  et  $\kappa_2$  sont fixés comme suit:

- Coefficient d'adaptation  $\kappa_1$  (répartition de la température dans la section de la poutre):
  - exposé au feu sur tous les côtés:  $\kappa_1 = 1.00$
  - exposé au feu sur trois côtés, non protégé, avec dalle en béton sur le 4<sup>ème</sup> côté <sup>5</sup>:  $\kappa_1 = 0.70$
  - exposé au feu sur trois côtés, avec protection incendie, avec dalle en béton sur le 4<sup>ème</sup> côté <sup>5</sup>:  $\kappa_1 = 0.85$
- Coefficient d'adaptation  $\kappa_2$  (répartition de la température sur la longueur de la poutre):
  - aux appuis d'une poutre hyperstatique  $\kappa_2 = 0.85$
  - dans tous les autres cas  $\kappa_2 = 1.00$

### Hypothèses de la procédure de calcul

Le calcul de la résistance au feu est fondé sur les hypothèses et valeurs initiales suivantes:

- La température de l'incendie est conforme à la Norme EN 1363-1 <sup>6</sup>
- Distribution de température uniforme dans l'élément en acier (c.-à-d. pas de gradient de température dans la section d'acier); les irrégularités d'élévation de température sont prises en compte par le coefficient d'adaptation  $\kappa$ .
- Choix de la nuance d'acier selon l'Euronorme EN 10025 (S235, S275, S355, S420, S460)
- Pour la vérification par élément de construction individuel, l'effet de la dilatation thermique peut être négligé.
- Profils des classes de section 1, 2, 3 (avec  $A_m/V > 10 \text{ m}^{-1}$ ). Pour la classe 4, voir section 3.3.
- Echauffement de l'acier calculé selon la Norme EN 1993-1-2 [10].
- Courbes d'échauffement des profils revêtus présentées pour  $\phi = 0$  (pour d'autres valeurs de  $\phi$  voir section 2.3).

De plus amples renseignements sur le nomogramme et la méthode de calcul se trouvent dans la publication SZS C2.6 [13].

## 2.2 Démarche de calcul

### Calcul du taux de sollicitation en situation d'incendie $\mu_{fi,t}$

$$\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$$

(voir section 1.2), par simplification, pour les bâtiments d'habitation et administratifs, on peut également admettre  $\mu_{fi,t} = \mu_0 = \mu_{fi}$  avec  $\mu_{fi} = E_{d,fi}/E_d$ , pour autant que les problèmes de stabilité tels que le flambage, le déversement ou le flambage par flexion et torsion ne soient pas déterminants.

### Détermination du facteur de massivité

Le facteur de massivité  $[A_m/V]_{sh}$  pour les éléments non revêtus, resp.  $[A_p/V]$  pour les éléments revêtus, peut être repris de la section 2.4 et de l'annexe 3. Le facteur de

massivité thermique est déterminé selon la section 2.3 et l'exemple A (section 3.1).

### Poteaux

Le coefficient d'élanement des poteaux  $\bar{\lambda}_\theta$  dépend de la température. Pour les poteaux, la vérification peut être effectuée de façon simple à l'aide de la procédure affinée décrite ci-dessous. Le coefficient de flambage d'un poteau à la température  $\theta$  est calculé comme suit selon la norme EN 1993-1-2, chiffre 4.2.3.2:

$$\alpha = 0.65 \cdot \sqrt{235/f_y} \quad \chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}}$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}_{\theta,fi} \sqrt{k_{y,\theta}/k_{E,\theta}} \quad N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi}$$

$$\phi_\theta = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2]$$

Dans lesquels: (interpolation linéaire)

Température de l'acier $\theta_a$ [°C]	20	300	400	500	600	700	800	900
$\sqrt{k_{y,\theta}/k_{E,\theta}}$	1.00	1.12	1.20	1.14	1.23	1.33	1.11	0.94
$k_{y,\theta}$	1.0	1.0	1.0	0.78	0.47	0.23	0.11	0.06

La température critique d'un poteau peut être déterminée de façon directe à l'aide des figures 47 à 49. Finalement la durée de résistance au feu peut être lue sur le nomogramme de la figure 54.

Comme variables d'entrée dans les tableaux des figures 47 à 49, le coefficient d'élanement à froid  $\bar{\lambda}_0$  (avec  $L_{K,0}$  = longueur de flambage à température ambiante) et le taux d'utilisation  $\mu_{fi,0}$  (avec  $N_{b,fi,t=0,Rd}$  c.à d. pour  $t = 0$  avec  $\theta = 20$  °C dans les formules ci-dessus) doivent être calculés (voir aussi l'exemple de la section 3.1).

$$\bar{\lambda}_0 = \frac{L_{K,0}}{i} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}} \quad \text{und} \quad \mu_{fi,0} = \frac{N_{fi,d}}{N_{b,fi,t=0,Rd}}$$

Avec ces variables d'entrée, la température critique pour le rapport approprié entre la longueur de flambage  $L_{K,fi}$  en situation d'incendie et la longueur de flambage  $L_{K,0}$  à température ambiante peut être lu dans les tableaux suivants.

Fig. 47: Température critique de l'acier  $\theta_{crit}$  pour poteaux avec  $L_{K,fi} = 0.5 L_{K,0}$

$\mu_{fi,0}$	$\bar{\lambda}_0$									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	732	741	752	764	778	791	805	827	845	859
0.25	696	701	713	728	744	759	773	784	793	802
0.30	676	682	689	695	709	726	741	753	763	771
0.35	656	663	672	681	690	698	710	724	734	743
0.40	636	645	654	665	676	685	692	697	703	712
0.45	617	626	637	650	662	673	681	687	691	694
0.50	597	607	620	634	648	660	669	676	681	685
0.55	582	591	603	619	634	647	658	665	671	675
0.60	567	577	589	603	620	635	646	655	661	666
0.65	552	563	576	591	606	622	635	644	651	656
0.70	537	549	563	579	594	609	623	633	641	647

- 5 S'applique également aux poutres de dalles mixtes avec tôle profilée, pour autant que la face supérieure soit couverte à 90 % min. ou que les parties creuses soient remplies avec un matériau de protection incendie. Dans le cas de dalles en bois on applique  $\kappa = 1.0$ .
- 6 Courbe d'incendie normalisée selon ISO 834 / EN 1363-1, cf. fig. 2.

$\mu_{fi,0}$	$\bar{\lambda}_0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	727	730	733	738	744	749	753	757	760	762	
0.25	692	693	695	697	698	699	702	705	707	708	
0.30	672	674	675	679	680	682	685	686	685	687	
0.35	652	654	657	661	664	667	669	670	671	672	
0.40	631	634	638	643	647	651	653	655	656	657	
0.45	611	615	619	625	630	634	637	640	641	642	
0.50	593	596	600	607	613	618	621	624	626	627	
0.55	577	581	586	592	597	601	606	609	611	613	
0.60	562	566	572	579	585	589	593	595	597	598	
0.65	546	552	558	566	573	578	582	585	587	589	
0.70	531	537	544	553	560	567	572	575	577	579	

Fig. 48: Température critique de l'acier  $\Theta_{crit}$  pour poteaux avec  $L_{K,fi} = 0.7 L_{K,0}$

$\mu_{fi,0}$	$\bar{\lambda}_0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	718	708	697	690	683	679	675	673	671	670	
0.25	687	682	674	666	659	653	649	646	644	643	
0.30	666	660	652	643	635	627	624	621	617	617	
0.35	645	638	629	619	610	603	599	596	595	594	
0.40	623	616	607	597	591	586	582	580	578	577	
0.45	602	596	589	581	574	569	566	563	561	560	
0.50	585	580	573	565	558	553	549	546	544	543	
0.55	569	564	557	549	542	536	532	529	527	526	
0.60	553	548	540	532	525	519	515	513	511	509	
0.65	537	532	524	516	509	503	498	491	485	481	
0.70	521	515	508	500	484	470	458	450	443	438	

Fig. 49: Température critique de l'acier  $\Theta_{crit}$  pour poteaux avec  $L_{K,fi} = 1.0 L_{K,0}$

Matériau	Masse volumique $\rho_p$ [kg/m³]	Teneur en eau p [%]	Conductivité thermique $\lambda_p$ [W/(m·K)]	Chaleur spécifique $c_p$ [J/(kg·K)]
<b>Crépis projetés</b>				
- fibres minérales	300	1	0.12	1200
- vermiculite/perlite	350	15	0.12	1200
<b>Crépis spéciaux*</b>				
- vermiculite ou perlite et ciment	550	15	0.12	1100
- vermiculite ou perlite et anhydrite	650	15	0.12	1100
<b>Plaques</b>				
- vermiculite ou perlite et ciment	800	15	0.20	1200
- fibres-silicate ou silicate de calcium	600	3	0.15	1200
- fibres et ciment	800	5	0.15	1200
- plaques de plâtre	800	20	0.20	1700
<b>Fibres comprimées</b>				
- Plaques de fibres silicate, laine de roche, laine minérale	150	2	0.20	1200
<b>Béton</b>	2300	4	1.60	1000
<b>Béton léger</b>	1600	5	0.80	840
<b>Blocs de béton</b>	2200	8	1.00	1200
<b>Briques creuses</b>	1000	-	0.40	1200
<b>Briques pleines</b>	2000	-	1.20	1200

\* projetés à haute densité

Fig. 50: Propriétés de matériaux de revêtement typiques pour le calcul de la résistance au feu au moyen de l'Euronogramme

### 2.3 Matériaux de revêtement et peintures

Pour les éléments en acier revêtus, le facteur de massivité  $A_m/V$  est remplacé par le facteur de massivité thermique. Ce dernier peut être calculé selon «ECCS Explanatory Document N° 92» [11] de la façon suivante:

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1+0.5\phi}; \text{ avec } \phi = \frac{c_p \cdot d_p \cdot \rho_p \cdot A_p}{c_a \cdot \rho_a \cdot V}$$

Pour simplifier, il est permis d'utiliser  $\phi = 0$  (ce qui entraîne un résultat sécuritaire). Si  $\phi$  est pris en considération dans le calcul, on introduira dans l'équation ci-dessus  $c_a = 600 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  et  $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$ .

L'influence de la teneur en eau  $t_v$  peut être accessoirement prise en compte, selon l'exemple A. Le revêtement doit être monté selon les règles, de manière à ce que, durant un incendie, il reste durablement lié au profilé. Les propriétés de matériaux selon la figure 50 peuvent être utilisées pour déterminer le facteur de massivité thermique.

Pour la vérification de la résistance au feu par le calcul au moyen du nomogramme, on peut varier les épaisseurs de couche de peintures intumescentes en fonction du produit, de la température critique et du facteur de massivité. Cela permet de diminuer parfois considérablement l'épaisseur des couches.



Fig. 51: Application du revêtement de protection incendie en usine

## 2.4 Facteurs de massivété

### Éléments en acier non revêtus

Le facteur de massivété pour profilés en acier non revêtus est déterminé comme suit:

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = k_{sh} \cdot \left[ \frac{A_m}{V} \right]$$

Le rapport entre la surface de l'élément de construction  $A_m$  et son volume  $V$  est appelé le facteur de massivété; il est, pour les profilés à section transversale constante, égal au rapport entre la circonférence et la surface de la section. Selon la géométrie de profilé, surviennent lors de l'échauffement des effets d'ombrage, qui sont pris en considération par le facteur de correction  $k_{sh}$ . Pour calculer ce facteur de correction, il faut aussi calculer le facteur de massivété  $[A_m/V]_b$  de la section en caisson imaginaire entourant le profilé. Le facteur de correction est déterminé comme suit:

$$k_{sh} = \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b / \left[ \frac{A_m}{V} \right]$$

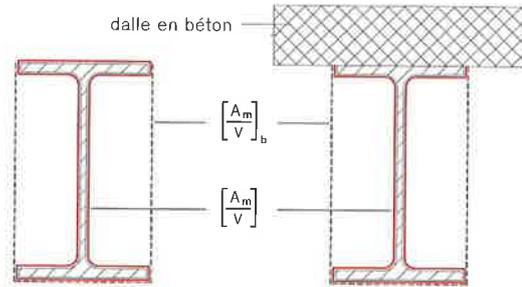
Dans le cas d'un profilé en double-té, le facteur de réduction  $k_{sh}$  peut être diminué de 10% supplémentaires.

Pour les sections en double-té:

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = 0,9 \cdot \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b$$

Pour les sections pleines et les profils creux etc.:

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b = \left[ \frac{A_m}{V} \right]$$



Légende:   
  
 section du profilé en acier   
 circonférence exposée au feu   
 section en caisson imaginaire entourant le profilé  $\left[ \frac{A_m}{V} \right]_b$

Exemples:

Description	exposé au feu	$[A_m/V]$
 plat métallique	sur tous les côtés	$\approx 2/t$
	sur un côté	$\approx 1/t$
 section ouverte d'épaisseur constante	sur tous les côtés	$\approx 2/t$
	par l'extérieur	$\approx 1/t$
 section creuse d'épaisseur constante	sur tous les côtés	$\approx 4/d$
	sur tous les côtés	$4/d$

Fig. 52: Facteurs de massivété d'éléments sans revêtement

### Éléments en acier revêtus

Facteur de massivété:  $\frac{A_p}{V} = \frac{\text{surface interne du matériau de revêtement}}{\text{section du profilé en acier}}$

$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{périmètre de l'acier}}{\text{section du profilé en acier}}$ 
 $\frac{A_p}{V} = \frac{2(b+h)^1}{\text{section du profilé en acier}}$ 
 $\frac{A_p}{V} = \frac{\text{périmètre de l'acier} - b}{\text{section du profilé en acier}}$ 
 $\frac{A_p}{V} = \frac{(2h+b)^1}{\text{section du profilé en acier}}$

légende:   
  
 revêtement (épaisseur  $d_p$ )   
 section du profilé en acier   
 contour interne  $A_p$

1) les dimensions  $c_1$  et  $c_2$  ne doivent normalement pas dépasser  $h/4$

Fig. 53: Facteurs de massivété d'éléments en acier avec revêtement

### Facteurs de massivété des profilés laminés

Les valeurs chiffrées des facteurs de massivété pour les profilés laminés IPE, IPEA, INP, HEA, HEB, HEM, HDD, HL, UNP et UPE sont indiquées à l'annexe 3.

2.5 Méthode graphique (nomogramme)

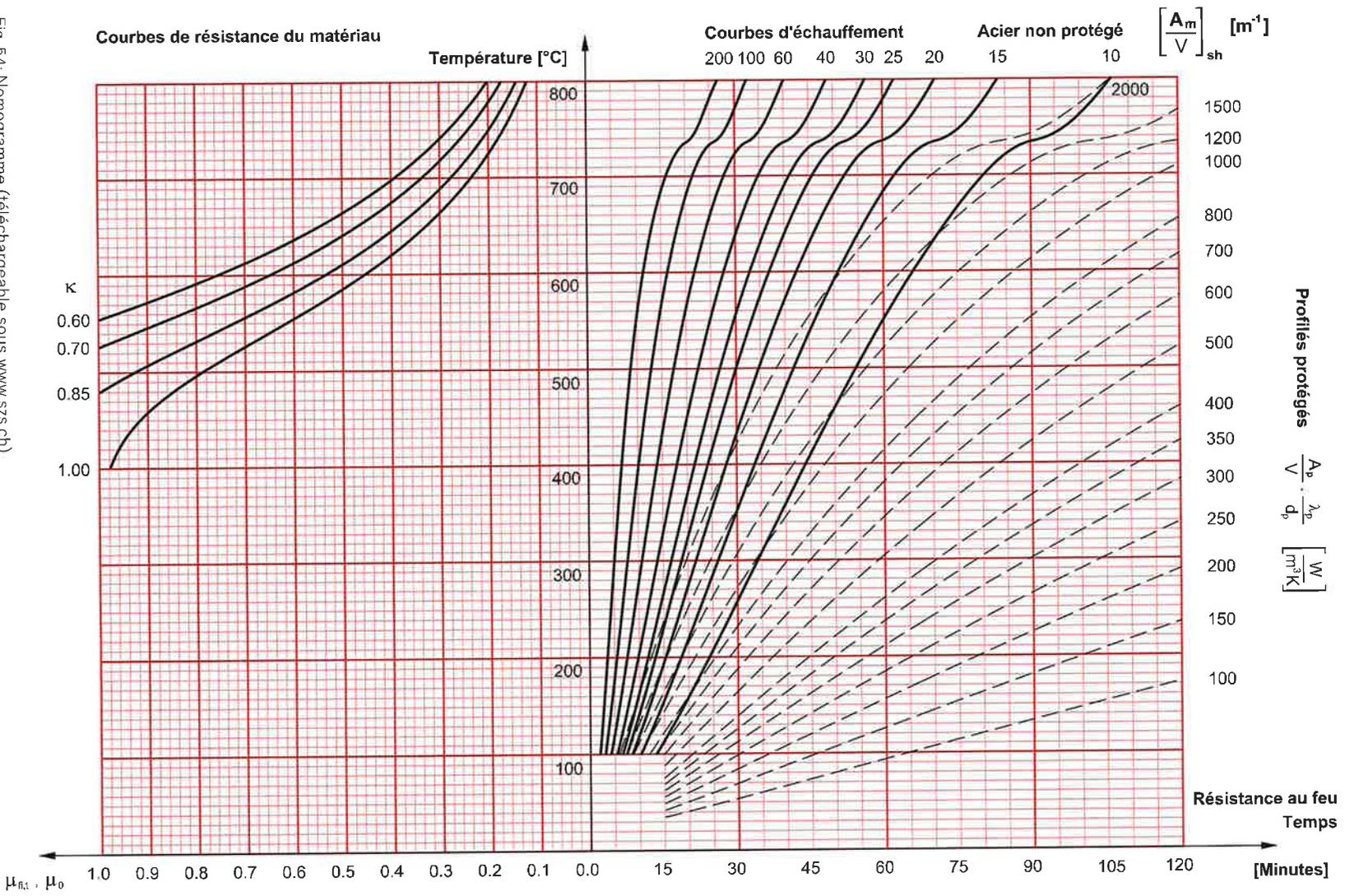


Fig. 54: Nomogramme (téléchargeable sous [www.szs.ch](http://www.szs.ch))

### 3 Application du nomogramme

#### 3.1 Exemple A: poteau revêtu

Donné: Epaisseur du revêtement et facteur de massivité  
 Recherché: Durée de résistance au feu pour poteau HEA 300, acier S235,  $L = L_{K,0} = 3.0$  m (continu pour les deux axes du profilé) effort normal  $N_{Ed,fi} = 1205$  kN, avec caisson en plaques de fibres-silicates de calcium  $d_p = 20$  mm,  $\lambda_p = 0.15$  W/(m·K),  $p = 3\%$ , tiré de la fig. 50.  $A_p/V = 104$  m<sup>-1</sup> (annexe 3).

On détermine ensuite la température critique. Pour cela, on calcule le coefficient d'élanement pour le système porteur à température ambiante:

$$\bar{\lambda}_0 = \frac{L_{K,0}}{i} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}} = \frac{3000}{74.9} \cdot \frac{1}{93.9} = 0.427$$

Résistance au flambage à 20°C,  $\gamma_{M,fi} = 1.0$ ,  $L = L_{K,0} = 3.0$  m selon norme EN 1993-1-2, chiffre 4.2.3.2  
 $N_{b,fi,t=0,Rd} = 0.757 \cdot 0.235 \cdot 11'300 = 2010$  kN

$$\mu_{fi,0} = \frac{1205 \text{ kN}}{2010 \text{ kN}} = 0.60$$

Avec le coefficient d'élanement  $\bar{\lambda}_0$  et le taux d'utilisation  $\mu_{fi,0}$ , on peut tirer la température critique  $\Theta_{crit} = 580$  °C pour  $L_{K,fi} = 0.5 L_{K,0}$  sur la figure 47.

Le facteur de massivité thermique (simplifié pour  $\phi = 0$ )

$$\text{devient: } \frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 104 \cdot \frac{0.15}{0.020} = 780 \text{ W/(m}^3 \cdot \text{K)}$$

Le nomogramme avec  $\Theta_{crit} = 580$  °C et le facteur de massivité thermique permet de lire une résistance au feu  $t_t = 100$  minutes.

Si l'on tient compte de la valeur effective de  $\phi$ :

$$\phi = \frac{c_p \cdot d_p \cdot p_p \cdot A_p}{c_a \cdot p_a \cdot V} = \frac{1200 \cdot 0.020 \cdot 600}{600 \cdot 7850} \cdot 104 = 0.318$$

le facteur de massivité thermique modifié devient:

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1+0.5\phi} = 673 \text{ W/(m}^3 \cdot \text{K)}$$

Le nomogramme indique ici, avec  $\Theta_{crit} = 580$  °C une résistance au feu de  $t_t = 111$  minutes, soit une nette amélioration par rapport au calcul simplifié avec  $\phi = 0$ .

L'augmentation supplémentaire due à la teneur en eau peut être calculée de manière approximative comme suit:

$$t_v = \frac{p \cdot p_p \cdot d_p^2}{5 \cdot \lambda_p} = \frac{3 \cdot 600 \cdot 0.025^2}{5 \cdot 0.15} = 1 \text{ minute}$$

NB: Si l'influence de la teneur en eau est déjà considérée implicitement dans  $\lambda_p$ ,  $t_v$  ne peut pas être pris en compte en plus.

Le poteau avec revêtement satisfait à la classification R 90.

#### 3.2 Exemple B: Solives revêtues

Donné: Sollicitation calculée et durée de résistance au feu requise R 90

Recherché: Facteur de massivité et revêtement nécessaire pour solives IPE 300

**1. Calcul du taux de sollicitation  $\mu_{fi,t}$ :** Selon calcul statique (sollicitation en flexion, acier S235, déversement exclu par appui latéral dû à la dalle):

$$M_{Ed,fi} = 67.5 \text{ kNm}$$

$$M_{fi,t=0,Rd} = 148 \text{ kNm (pour } \gamma_{M,fi} = 1.0)$$

$$\mu_{fi,t} = M_{Ed,fi} / M_{fi,t=0,Rd} = 67.5 / 148 = 0.456$$

Le nomogramme avec  $\mu_{fi,t} = 0.456$  et  $\kappa = 0.7$  indique la température critique de  $\Theta_{crit} = 654$  °C.

**2. Revêtement en caisson:** Pour une poutre avec une dalle en béton sur la semelle supérieure,  $A_p/V = 139$  m<sup>-1</sup> voir annexe 3). Selon le nomogramme, le facteur de massivité thermique pour  $\mu_{fi,t} = 0.456$  et R 90 peut atteindre 1150 W/(m<sup>3</sup>·K) au maximum. Avec  $A_p/V = 139$  m<sup>-1</sup> le revêtement doit satisfaire aux conditions suivantes:

$$\frac{d_p}{\lambda_p} \geq \frac{A_p/V}{1150} = \frac{139}{1150} = 0.121 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Pour les plaques en fibro-ciment (fig. 50) avec conductivité thermique  $\lambda_p = 0.15$  W/(m·K) il résulte une épaisseur requise du revêtement de  $d_p \geq \lambda_p \cdot 0.121 = 0.15 \cdot 0.121 = 0.018$  m = 18 mm.

#### 3.3 Exemple C: Poutre composée à âme mince

Donné: Facteur de massivité, durée de résistance au feu R 60 et température critique  $\Theta_{crit} = 350$  °C

Recherché: Epaisseur nécessaire du revêtement pour section de la classe 4 (poutre composée à âme pleine mince),  $A_p/V = 200$  m<sup>-1</sup>

Remarque: Le nomogramme permet de tenir directement compte d'une limitation de température de l'acier ( $\Theta_{crit} = 350$  °C pour les sections de la classe 4, selon la Norme SIA 263, chiffre 4.8.5.9).

Epaisseur de revêtement minimale avec plaques en fibres de silicate: Selon le nomogramme, le facteur de massivité thermique peut atteindre 610 W/(m<sup>3</sup>·K) au maximum.

Avec  $A_p / V = 200 \text{ m}^{-1}$ , le revêtement doit satisfaire à la condition suivante:

$$\frac{d_p}{\lambda_p} \geq \frac{A_p/V}{610} = \frac{200}{610} = 0.33 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Pour les plaques en fibres de silicate (fig. 50) avec une conductibilité thermique  $\lambda_p = 0.15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ , on déduit l'épaisseur  $d_p \geq \lambda_p \cdot 0.33 = 0.15 \cdot 0.33 = 0.050 \text{ m}$ , donc  $d_p \geq 50 \text{ mm}$  est l'épaisseur de revêtement nécessaire.

### 3.4 Exemple D: Poteau continu en acier plein

Donné: Facteur de massiveté, longueur du poteau, effort normal en cas d'incendie

Recherché: Durée de résistance au feu pour poteau en acier rond,  $d = 280 \text{ mm}$ ,  $L = L_{K,0} = 4.0 \text{ m}$  (continu),  $f_{y,20^\circ} = 235 \text{ N/mm}^2$  (à fixer de manière explicite), effort normal  $N_{Ed,fi} = 3000 \text{ kN}$

Facteur de massiveté:  $A_m/V = 4/d = 4/0.280 = 14 \text{ m}^{-1}$   
Comme dans cet exemple on considère un étage intermédiaire, le rapport entre les longueurs de flambage en cas d'incendie et à froid représente  $L_{K,fi} = 0.5 L_{K,0}$ . En utilisant la figure 47 le calcul est effectué de la façon suivante:

Coefficient d'élanement:  $\bar{\lambda}_0 = L_{K,0} / (i \cdot \pi \cdot \sqrt{E_{a,20^\circ} / f_{y,20^\circ}})$   
 $= 4000 / (70 \cdot \pi \cdot \sqrt{210 / 0.235}) = 0.609$

Résistance au flambage à  $20^\circ \text{C}$ ,  $\gamma_{M,fi} = 1.0$ , selon EN 1993-1-2, chiffre 4.2.3.2

$$N_{b,fi,t=0,Rd} = 0.657 \cdot 0.235 \cdot 61'600 = 9511 \text{ kN}$$

$\mu_{fi,0} = 3000 / 9511 = 0.315$  (voir à la fig. 47) température critique de l'acier  $\Theta_{crit} = 684^\circ \text{C}$

Le nomogramme indique pour  $A_m/V = 14 \text{ m}^{-1}$  une durée de résistance au feu de 63 minutes.

### 3.5 Exemple E: Poteau articulé en acier plein

Donné: Facteur de massiveté, longueur du poteau, effort normal en cas d'incendie

Recherché: Durée de résistance au feu pour poteau articulé en cas d'incendie

Poteau en acier rond,  $d = 280 \text{ mm}$ ,  $L = L_{K,0} = 3.0 \text{ m}$ ,  $L_{K,fi} = 1.0 L_{K,0}$ ,  $f_{y,20^\circ} = 235 \text{ N/mm}^2$  (à fixer de manière explicite), effort normal  $N_{Ed,fi} = 3000 \text{ kN}$

$$\bar{\lambda}_0 = L_{K,0} / (i \cdot \pi \cdot \sqrt{E_{a,20^\circ} / f_{y,20^\circ}}) = 3000 / (70 \cdot 93.9) = 0.456$$

Coefficient d'élanement au flambage à  $20^\circ \text{C}$ ;  $\gamma_{M,fi} = 1.0$ , selon EN 1993-1-2, chiffre 4.2.3.2

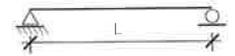
$$N_{b,fi,0,Rd} = 0.741 \cdot 0.235 \cdot 61'600 = 10726 \text{ kN}$$

$\mu_{fi,0} = 3000 / 10726 = 0.28$  (voir à la fig. 49)

Température critique de l'acier  $\Theta_{crit} = 667^\circ \text{C}$

Le nomogramme indique pour pour  $A_m/V = 14 \text{ m}^{-1}$  une durée de résistance au feu de 61 minutes.

### 3.6 Exemple F: Poutre mixte avec peinture intumescente ou crépi



#### Données

Poutres mixtes IPE 270 S235, portée  $L = 9000 \text{ mm}$ , entraxe  $a = 2200 \text{ mm}$ , déversement empêché par la dalle béton. Exposé au feu sur trois côtés. Dalle  $d_c = 160 \text{ mm}$  en béton C 25/30. Revêtement de sol, chape, parois de séparation. Charge utile bureaux. Résistance au feu exigée R 60.

#### Actions, moments en travée

$g_k =$  actions permanentes =  $12.5 \text{ kN/m}$

$q_k =$  charges utiles =  $6.6 \text{ kN/m}$

$$q_d = 1.35 \cdot 12.5 + 1.5 \cdot 6.6 = 26.78 \text{ kN/m}$$

$$M_d = 271.1 \text{ kNm}$$

$$q_{Ed,fi} = 1.0 \cdot 12.5 + 0.3 \cdot 6.6 = 14.48 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,fi} = 146.6 \text{ kNm}$$

#### Méthode simplifiée pour la résistance à la flexion (à froid, connexion totale)

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \text{ (mit } b_{eff,i} = 0.2b_i + 0.1L_o) = 2348 \text{ mm}$$

$b_{eff} > a \rightarrow b_{eff} = a = 2200 \text{ mm}$  (largeur efficace)

hauteur de la zone comprimée du béton:

$$x_p = N_{a,Rd} / (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}) = (4590 \cdot 235 / 1.05) / (0.85 \cdot 25 / 1.5 \cdot 2200) = 33 \text{ mm}$$

bras de levier interne:

$$e = (h_a / 2 + d_c - x_p / 2) = 270 / 2 + 160 - 33 / 2 = 278.5 \text{ mm}$$

résistance à la flexion, à froid:

$$M_{Rd} = 0.2785 \cdot 4590 \cdot 0.235 / 1.05 = 286.1 \text{ kNm}$$

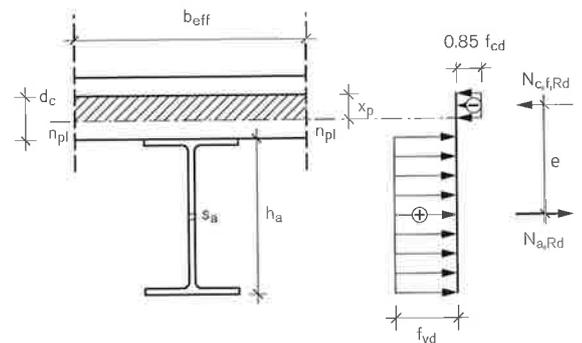


Fig. 55: Répartition des efforts intérieurs dans la poutre mixte pour dimensionnement plastique

#### Température critique avec nomogramme

Taux de sollicitation comme hypothèse sécuritaire avec  $\mu_{fi,t} = M_{Ed,fi} / M_{fi,t=0,Rd} \sim M_{Ed,fi} / (M_{Rd} \cdot \gamma_{M1}) = 146.6 / (286.1 \cdot 1.05) = 0.49$ , pour poutre exposée au feu sur

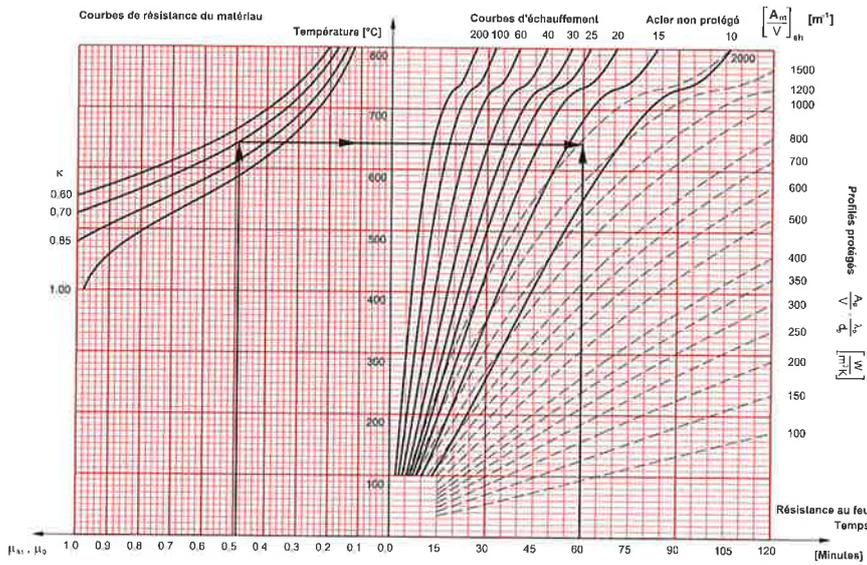


Fig. 56: Exemple F: poutre mixte

3 côtés, avec dalle béton sur 4<sup>ème</sup> côté, avec courbe pour  $\kappa = \kappa_1 \cdot \kappa_2 = 0.7 \cdot 1.0 = 0.7$  la lecture directe indique  $\Theta_{crit} \approx 643 \text{ °C}$  (voir fig. 56).

Variante: température critique avec formule d'approximation selon Eurocode EN 1993-1-2 [10], formule 4.18:

$$\Theta_{crit} = 39.19 \ln \left[ \frac{1}{0.9674 \cdot \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482$$

Pour  $\mu_0 = \mu_{fi,t} \cdot \kappa = 0.49 \cdot 0.7 = 0.34$  cette formule donne  $\Theta_{crit} = 643 \text{ °C}$

### Facteur de massiveté

IPE 270 exposé au feu sur 3 côtés,  $A_m/V = 197 \text{ m}^{-1}$  (annexe 3)

Remarque: Sans peinture intumescente, cette poutre mixte atteint selon le nomogramme une résistance au feu de 15 minutes seulement.

### Peinture intumescente

Épaisseur de couche sèche requise pour R 60:

- Vérification par le calcul avec le nomogramme et tableau spécifique du produit (voir fig. 51, exemple de produit): pour R 60 et  $A_m/V = 197 \text{ m}^{-1}$ , on obtient  $\Theta_{crit} = 643 \text{ °C}$ . Le tableau pour  $A_m/V \leq 200$  et  $\Theta_{crit} = 650 \text{ °C}$  indique une épaisseur de couche sèche requise de **1000  $\mu\text{m}$** .
- Pour comparaison, vérification simplifiée pour le même produit selon le tableau tiré du Répertoire suisse de la protection incendie: pour  $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$ , c.-à-d. sans vérification du taux de sollicitation, l'épaisseur de couche sèche requise est de **2350  $\mu\text{m}$** .

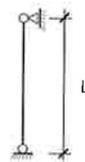
La vérification affinée en tenant compte du taux de sollicitation conduit donc à une importante réduction de l'épaisseur de couche sèche!

Des économies similaires sont possibles pour d'autres matériaux de protection, comme le montre l'exemple suivant:

### Exemple comparatif avec crépi

Isolation de protection incendie par spray de fibres minérales R 60, poutre identique avec même taux de sollicitation  $\mu_{fi,t} = 0.49$

- Vérification avec nomogramme: Spray de fibres minérales: masse volumique  $\rho_p = 300 \text{ kg/m}^3$ ; teneur en eau  $p = 1\%$ ;  $\lambda_p = 0.12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  pour  $\mu_{fi,t} = 0.49$ ,  $\kappa = 0.7$ ,  $\Theta_{crit} = 643 \text{ °C}$  et R 60 selon le nomogramme (voir fig. 56) facteur de massiveté thermique requis  $A_p/V \cdot \lambda_p/d_p \geq 2000 \text{ W/(m}^3\cdot\text{K)}$ . Calcul de l'épaisseur requise:  $d_{p,erf} = 197/2000 \cdot 0.12 = \mathbf{12 \text{ mm}}$
- Vérification affinée avec nomogramme en tenant compte du facteur de massiveté modifié: Calcul comme ci-dessus a), mais avec 
$$\phi = \frac{c_p \cdot d_p \cdot \rho_p \cdot A_p}{c_a \cdot \rho_a \cdot V} = \frac{1200 \cdot 0.012 \cdot 300}{600 \cdot 7850} \cdot 197 = 0.18$$
 le facteur de massiveté thermique devient  $A_p/V \cdot \lambda_p/d_p / (1 + 0.5\phi) = 2000$  ce qui donne l'épaisseur requise  $d_{p,erf} = 197/2180 \cdot 0.12 = \mathbf{11 \text{ mm}}$
- Vérification simplifiée avec le Répertoire suisse de la protection incendie pour un produit spécifique, sur la base de  $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$  pour  $A_m/V \leq 200 \text{ m}^{-1}$  on lit par ex.  $d_{p,erf} = \mathbf{25 \text{ mm}}$



### 3.7 Exemple G: Poteau non revêtu

Donné: poteau de rez-de-chaussée continu vers le haut HEB 340 S235,  $L = L_{K,0} = 4000 \text{ mm}$ , charges permanentes  $N_{Gk} = 400 \text{ kN}$ , charges variables  $N_{Qk} = 1200 \text{ kN}$ , affectation bureaux

Recherché: durée résistance au feu

#### Actions

Cas de charge «charge utile»:

$$N_{Ed} = 1.35 \cdot 400 + 1.5 \cdot 1200 = 2340 \text{ kN}$$

Cas de charge «incendie»:

$$N_{Ed,fi} = 1.0 \cdot 400 + 0.3 \cdot 1200 = 760 \text{ kN}$$

#### Résistance au flambage à température ambiante

$$\bar{\lambda}_0 = L_{K,0} / (i \cdot \pi \cdot \sqrt{E_{a,20} / f_{y,20}}) = 4000 / (75.3 \cdot 93.9) = 0.57$$

$$N_{b,fi,t=0,Rd} = 0.678 \cdot 17100 \cdot 0.235 = 2725 \text{ kN}$$

$$\mu_{fi,0} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{b,fi,0,Rd}} = \frac{760}{2725} = 0.28$$

En situation d'incendie, le poteau n'est pas encasturé à l'extrémité supérieure,  $L_{K,fi} = 0.7 L_{K,0}$

Pour le coefficient d'élancement et le taux d'utilisation, la température critique peut être tirée de la figure 48

$\Theta_{crit} = 683 \text{ °C}$ .

Le facteur de massiveté pour le profilé non revêtu est calculé avec l'équation:

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b \cdot k_{sh}$$

Dans laquelle le facteur de réduction pour les profilés en double-té est multiplié par 0.9:

$$k_{sh} = 0.9 \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b / \left[ \frac{A_m}{V} \right]$$

La résolution des deux équations donne:

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = 0.9 \cdot \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b = 0.9 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (b + h)}{A_a} \right]$$

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = 0.9 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (340 + 300)}{17100} \right] = 67 \text{ m}^{-1}$$

ou directement de l'annexe 3:

$$\left[ \frac{A_m}{V} \right]_{sh} = 0.9 \cdot \left[ \frac{A_m}{V} \right]_b = 0.9 \cdot 74 = 67 \text{ m}^{-1}$$

Pour ce profilé, le nomogramme donne une durée de résistance au feu de 25 minutes.

### 3.8 Exemple H: Poteau avec peinture intumescente

Donné: Mêmes données qu'à l'exemple G

Recherché: Epaisseur de couche sèche requise pour R60

- Vérification par le calcul avec le nomogramme et les tableaux pour produits spécifiques (voir fig. 51, exemple avec un produit, resp. [www.szs.ch](http://www.szs.ch) ou l'Agrément technique européen ATE)  
Pour R 60,  $\Theta_{crit} = 683 \text{ °C}$  et le facteur de massiveté de  $105 \text{ m}^{-1}$  on lit sur le tableau du produit pour  $A_m/V \leq 110 \text{ m}^{-1}$  et  $\Theta_{crit} = 650 \text{ °C}$  (pas d'interpolation) une épaisseur de couche sèche requise de **600  $\mu\text{m}$** .
- Pour comparaison, vérification simplifiée pour le même produit selon le tableau tiré du Répertoire suisse de la protection incendie: pour  $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$ , c.-à-d. sans vérification du taux de sollicitation, l'épaisseur de couche sèche requise est de **1700  $\mu\text{m}$** .  
On obtient une valeur améliorée avec les tableaux plus complets qui ont servis de base aux agréments correspondants de l'AEAI. Exemple tiré de «Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (DIBt)»: pour  $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$  et un facteur de massiveté de  $105 \text{ m}^{-1}$ , on peut lire pour  $A_m/V \leq 114 \text{ m}^{-1}$  (pas d'interpolation) un épaisseur de couche sèche requise de **1200  $\mu\text{m}$** .

## 4 Procédures particulières

### 4.1 Autres qualités d'acier

Les caractéristiques mécaniques des aciers de construction en cas d'incendie sont présentées dans la figure 4 de la Partie I. Ces données s'appliquent également pour des aciers de construction de résistance élevée selon EN 10 025.

Les aciers inoxydables et des aciers spéciaux résistants ont, grâce aux éléments entrant dans l'alliage, un meilleur comportement au feu que celui de l'acier de construction normal, voir fig. 57 et 58. Pour la construction avec de tels aciers, les résistances au feu sont donc plus élevées, et elles peuvent, par exemple, être calculées avec un nomogramme modifié.

### 4.2 Courbes d'incendie spéciales

Dans le cadre des concepts de protection incendie orientés vers la performance, d'autres courbes d'incendie que les courbes d'incendie normalisé ISO peuvent être utilisés, par ex. :

- Courbe d'incendie d'hydrocarbures
- Courbe d'incendie pour construction à l'extérieur

- Courbe d'incendie à l'intérieur de tunnels
- Courbes d'incendie naturel

Les courbes d'évolution de la température en fonction du temps contenues dans la norme SN EN 1991-1-2 [9] pour des parties de construction à l'extérieur (avec une température maximale de  $680 \text{ °C}$ ) et pour les incendies d'hydrocarbures où l'élévation de température est encore plus rapide que lors d'un incendie normalisé selon ISO 834 / EN 1363-1, sont illustrées à la figure 59.

Pour les incendies à l'intérieur de tunnels, on applique des courbes température/temps spéciales, déterminées par les autorités du trafic routier ou ferroviaire.

Dans de tels cas également, la résistance au feu peut être déterminée au moyen de nomogrammes modifiés, ou de calculs correspondants.

Pour la détermination des courbes d'incendie naturel, SN EN 1991-1-2 [9] contient dans l'annexe A une procédure de calcul simple. Ce calcul indique les températures dans les locaux jusqu'à  $500 \text{ m}^2$  de surface de base et  $4 \text{ m}$  de hauteur. La procédure a fait l'objet d'un logiciel de calcul [15].

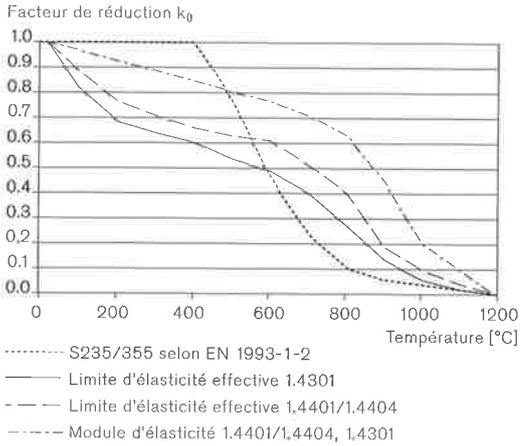


Fig. 57: Propriétés de matériau d'aciers spéciaux résistants, en cas d'incendie [19], en comparaison avec l'acier de construction

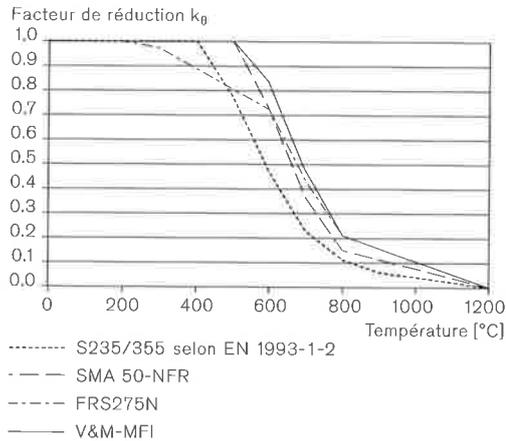


Fig. 58: Propriétés de matériau d'aciers inoxydables, en cas d'incendie [19], en comparaison avec l'acier de construction

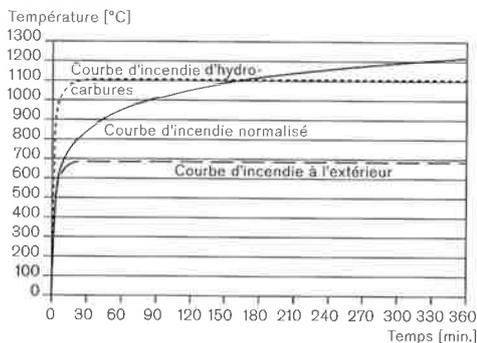


Fig. 59: Courbe d'incendie normalisé ISO 834 / EN 1363 et autres courbes température/temps selon [9]

### 4.3 Logiciels de calcul

Le Centre suisse de la construction métallique (SZS) met à disposition d'autres sources ([www.szs.ch](http://www.szs.ch)).

### 4.4 Exemple d'application incendie naturel

#### Situation initiale

Une centrale de commande avec une petite charge thermique a les dimensions  $L/L/H = 15\text{m}/15\text{m}/4\text{m}$ . Dalles et parois sont constituées de béton de 15 cm. Une grande ouverture dans la paroi est de dimensions  $H/L = 3.75\text{m}/3.0\text{m}$ . Le plafond est une dalle mixte avec des poutres IPE 450 sans protection, posées comme des poutres simples, avec un taux de sollicitation de  $\mu_{fi,t} = 0.6$  (faux-plafond sans résistance au feu). La charge thermique est de  $200\text{ MJ/m}^2$ , par rapport à la surface de base. Les poutres peuvent-elles résister à cet incendie sans effondrement durant 60 minutes?

Il est possible de démontrer avec des calculs d'incendie naturel que, dans ce cas, les poutres métalliques sans protection peuvent résister à un incendie. Pour les justifications avec incendie naturel il faut au préalable demander l'accord de l'autorité de protection incendie et déterminer avec elle les paramètres de calcul (voir section 4.2 et Partie I section 4.5).

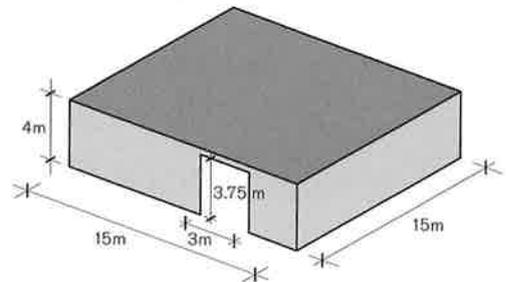


Fig. 60: Centrale de commande, dimensions du compartiment coupe-feu

#### Détermination de la température critique

Poutre mixte avec dalle en béton  $\kappa = 0.7$

Taux de sollicitation  $\mu_{fi,t} = 0.6$

→ selon Euronomogramme  $\Theta_{crit} = 620\text{ °C}$

#### Détermination de la température en cas d'incendie naturel

La méthode la plus simple est présentée dans l'Annexe A de SN EN 1991-1-2 [9]. Le calcul peut être effectué avec le logiciel de DIFISEK [15]. Il fournit pour le local en feu et les poutres de l'exemple les températures indiquées dans la figure 61.

#### Vérification de la sécurité structurale

La poutre métallique sans protection atteint après 39 minutes sa température maximale de  $533\text{ °C}$ . Cette tempé-

ture est inférieure à la température critique de 620 °C – la poutre peut donc résister à l'incendie et peut rester sans protection. La poutre avec crépi de protection n'atteint même que 355 °C, et conserve ainsi une grande réserve de portance en cas d'incendie.

**Exemple comparatif avec charge thermique élevée**

Pour une charge thermique de 500 MJ/m<sup>2</sup>, les températures obtenues sont celles de la figure 62. Dans les poutres sans protection, la température atteint un maximum de 723 °C après 66 minutes. La poutre atteignant la température critique de 620 °C après 40 minutes déjà, elle ne résisterait pas à l'incendie (résistance au feu < R 60). La poutre munie d'un revêtement par crépi projeté n'atteint que 520 °C et résiste donc à l'incendie.

Remarque: Le recours à des incendies paramétrés selon l'Annexe A de la norme SN EN 1991-1-2 [9] est lié à certaines conditions: surface de base  $A \leq 500 \text{ m}^2$ , hauteur du local  $H \leq 4.0 \text{ m}$ , ouvertures uniquement dans les parois (pas dans le toit ou la dalle), coefficient d'ouverture  $0.02 \leq O \leq 0.20$ , où  $O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_T$  (avec  $A_v$  surface totale d'ouvertures,  $h_{eq}$  surface pondérée d'ouvertures,  $A_T$  surface du local y compris ouvertures). Pour  $O > 0.15$ , les températures obtenues sont plutôt surestimées, et au-delà des limites mentionnées, d'autres méthodes de calcul, par ex. une simulation d'incendie, sont nécessaires.

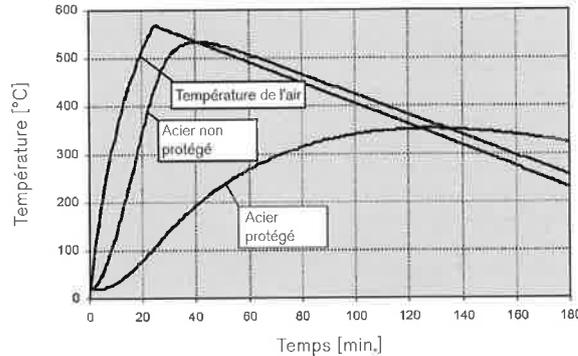


Fig. 61: Températures dans le local en feu et dans une poutre mixte IPE 450 sans protection (avec dalle béton au-dessus), ainsi qu'une poutre IPE 450 protégée par un crépi de fibres de silicate sur le profilé, avec une charge thermique de 200 MJ/m<sup>2</sup>, pour la centrale susmentionnée.

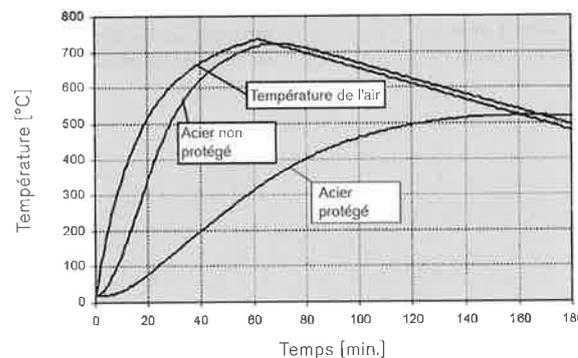


Fig. 62: Températures dans le local en feu et dans une poutre mixte IPE 450 sans protection (avec dalle béton au-dessus), ainsi qu'une poutre IPE 450 protégée par un crépi de fibres de silicate sur le profilé, avec une charge thermique de 500 MJ/m<sup>2</sup>, pour la centrale susmentionnée.

5 Formulaire de vérification

La vérification par le calcul de la résistance au feu (selon la Directive de protection incendie AEAI 15-15 «Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu», art. 6.3 [1]) est facile avec les formules du Centre suisse de la construction métallique (SZS).

La formule de vérification avec le diagramme de flux correspondant (www.szs.ch), se base sur les normes de structures porteuses de la SIA et la norme SN EN 1993-1-2 :2005 et sur le nomogramme correspondant selon la section 2.5. Il sert à produire des vérifications de la résistance au feu unifiées et contrôlables. La liste des données de base et le diagramme de flux facilitent le calcul. La formule peut être utilisée tant pour la vérification simplifiée avec  $\mu_{fi,t} = 0.65$  que pour la vérification affinée avec  $\mu_{fi,t} = 0.65$  que pour la vérification affinée avec  $\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t} > 0$ .

Fig. 63: Documentation de la vérification de la résistance au feu au moyen du formulaire SZS

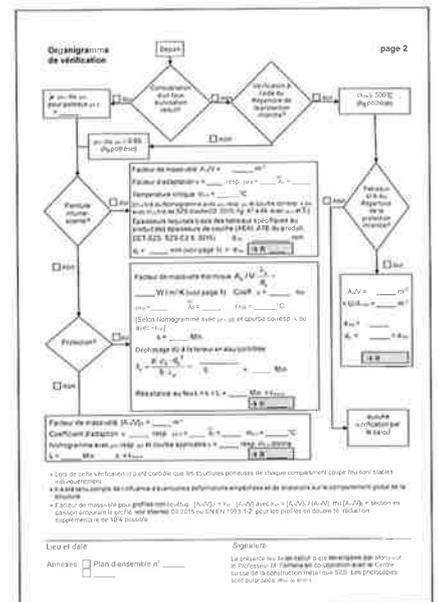


Fig. 64: Documentation de la vérification de la résistance au feu au moyen du diagramme de flux SZS

## 6 Notations et unités

### 6.1 Notations

A	Surface de la section en acier	[m <sup>2</sup> ]	t	Épaisseur de paroi en acier	[m]
A <sub>m</sub>	Surface de l'élément en acier exposée au feu, par unité de longueur	[m]	t <sub>r</sub>	Durée totale de résistance au feu (y compris t <sub>v</sub> )	[Min.]
A <sub>m</sub> /V	Facteur de massiveté non revêtu	[m <sup>-1</sup> ]	t <sub>t</sub>	Durée de résistance au feu sans influence de l'évaporation	[Min.]
[A <sub>m</sub> /V] <sub>sh</sub>	Facteur de massiveté thermique non revêtu [A <sub>m</sub> /V] <sub>sh</sub> = k <sub>sh</sub> · [A <sub>m</sub> /V]/(c <sub>a</sub> · ρ <sub>a</sub> )	[W/m <sup>3</sup> *K]	t <sub>v</sub>	Augmentation de la durée de résistance au feu due à l'évaporation de l'eau	[Min.]
[A <sub>m</sub> /V] <sub>b</sub>	Facteur de massiveté, non revêtu pour la section en caisson entourant le profilé	[m <sup>-1</sup> ]	U <sub>i</sub> /A	Facteur de massiveté (notation selon Répertoire suisse de la protection incendie)	[m <sup>-1</sup> ]
A <sub>p</sub>	Surface intérieure du revêtement, développée, par unité de longueur de l'élément	[m]	V	Volume de l'élément en acier par unité de longueur	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>p</sub> /V	Facteur de massiveté avec revêtement (facteur de massiveté thermique A <sub>p</sub> /V · λ <sub>p</sub> /d <sub>p</sub> )	[m <sup>-1</sup> ]	α	Facteur pour courbe de flambage pour dimensionnement en situation d'incendie (α = 0.65 · √(235/t <sub>y</sub> ))	
c <sub>p</sub>	Chaleur spécifique du revêtement	[J/(kg·K)]	ε	Influence de la résistance de l'acier ε = √(235/t <sub>y</sub> )	
c <sub>a</sub>	Chaleur spécifique de l'acier c <sub>a</sub> ≈ 600 J/(kg·K)	[J/(kg·K)]	φ	[(c <sub>p</sub> · ρ <sub>p</sub> · d <sub>p</sub> )/(c <sub>a</sub> · ρ <sub>a</sub> )] · A <sub>p</sub> /V (voir section 2.3)	
d <sub>p</sub>	Épaisseur du revêtement, épaisseur de la couche intumescente	[m] [μm]	γ <sub>M1</sub>	Facteur de résistance pour la résistance et la stabilité des parties de construction	
d <sub>req</sub>	Épaisseur requise du revêtement et/ou de la peinture intumescente		γ <sub>M,fi</sub>	Facteur de résistance pour les parties de construction en cas d'incendie	
E <sub>a,20°</sub>	Module d'élasticité de l'acier à 20 °C (E <sub>a,20°</sub> = 210 · 103 N/mm <sup>2</sup> )	[N/mm <sup>2</sup> ]	κ	Coefficient d'adaptation (coefficient pour répartition inégale de la température)	
E <sub>a,Θ</sub>	Module d'élasticité de l'acier à la température Θ	[N/mm <sup>2</sup> ]	λ̄ <sub>Θ</sub>	Coefficient d'élançement à la température Θ et conditions d'appui pour incendie	
E <sub>d</sub>	Valeur de calcul de la sollicitation «à froid»		λ̄ <sub>0</sub>	Coefficient d'élançement à température ambiante et pour conditions d'appui à température ambiante (avec L <sub>K,0</sub> )	
E <sub>d,fi</sub>	Valeur de calcul de la sollicitation en cas d'incendie		λ̄ <sub>0,fi</sub>	Coefficient d'élançement pour le système en cas d'incendie	
f <sub>y,20°</sub>	Limite d'élasticité à 20 °C	[N/mm <sup>2</sup> ]	λ̄ <sub>p</sub>	Conductibilité thermique du revêtement [W/(m·K)]	
f <sub>y,Θ</sub>	Limite d'élasticité à la température Θ	[N/mm <sup>2</sup> ]	μ <sub>0</sub>	Taux d'utilisation	
i	Rayon de giration	[m]	μ <sub>fi</sub>	Facteur de réduction pour les valeurs de calcul des charges (μ <sub>fi</sub> = E <sub>d,fi</sub> / E <sub>d</sub> ) [designé par η <sub>fi</sub> dans [10]]	
k <sub>y,Θ</sub>	Facteur de réduction de la limite d'élasticité k <sub>y,Θ</sub> = f <sub>y,Θ</sub> / f <sub>y,20°</sub>		μ <sub>fi,t</sub>	Taux de sollicitation calculé de la partie de construction μ <sub>fi,t</sub> = E <sub>d,fi</sub> / R <sub>d,fi,t=0</sub> (en [10] designé par μ <sub>0</sub> )	[-]
k <sub>E,Θ</sub>	Facteur de réduction du module d'élasticité k <sub>E,Θ</sub> = E <sub>a,Θ</sub> / E <sub>a,20°</sub>		ρ <sub>p</sub>	Masse volumique (densité) du revêtement [kg/m <sup>3</sup> ]	
k <sub>sh</sub>	Facteur de correction pour effets d'ombrage k <sub>sh</sub> = 0.9 · [A <sub>m</sub> /V] <sub>b</sub> /[A <sub>m</sub> /V] pour profil en double-té k <sub>sh</sub> = 1.0 · [A <sub>m</sub> /V] <sub>b</sub> /[A <sub>m</sub> /V] pour autres cas k <sub>sh</sub> = 1.0 pour profilé rectangulaire, resp. rond		ρ <sub>a</sub>	Densité de l'acier (ρ <sub>a</sub> = 7850 kg/m <sup>3</sup> )	[kg/m <sup>3</sup> ]
L	Longueur de système (hauteur d'étage h)	[m]	Θ	Température	[°C]
L <sub>K</sub>	Longueur de flambage	[m]	Θ <sub>crit</sub>	Température critique de la partie de construction en cas d'incendie (dans [10] designé par Θ <sub>cr</sub> )	[°C]
L <sub>K,0</sub>	Longueur de flambage à température ambiante (le plus souvent L <sub>K,0</sub> = 1.0 L)	[m]	χ <sub>fi</sub>	Facteur de réduction pour flambage par flexion en situation d'incendie	
L <sub>K,fi</sub>	Longueur de flambage en cas d'incendie	[m]			
M <sub>Ed,fi</sub>	Valeur de calcul de la sollicitation en flexion en cas d'incendie	[kNm]			
M <sub>fi,t=0,Rd</sub>	Valeur de calcul de la résistance à la flexion «à froid» pour le système en cas d'incendie	[kNm]			
N <sub>Ed</sub>	Valeur de calcul de l'effort normal	[kN]			
N <sub>Ed,fi</sub>	Valeur de calcul de l'effort normal en cas d'incendie	[kN]			
N <sub>b,fi,t=0,Rd</sub>	Valeur de calcul de la résistance à l'effort normal «à froid» pour le système à température ambiante avec L <sub>K,0</sub> (designé par N <sub>K,fi,t=0,Rd</sub> dans [6])	[kN]			
p	Teneur en eau du revêtement par rapport à la masse	[%]			
R <sub>d</sub>	Valeur de calcul de la résistance ultime				
R <sub>d,fi,Θ</sub>	Valeur de calcul de la résistance ultime «à chaud»				
R <sub>d,fi,t=0</sub>	Valeur de calcul de la résistance ultime «à froid» pour le système en cas d'incendie				

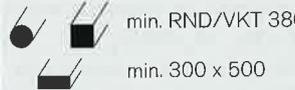
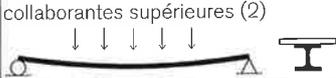
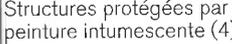
### 6.2 Unités

En général les unités utilisées sont les unités SI. Les températures en degrés Celsius [°C] sont désignées par Θ. On applique: 0 °C = 273 K, le facteur de conversion entre °C et K est de 1. Entre Joule [J], Watt [W] et l'ancienne unité Calorie [cal] on applique les rapports suivants: 1 W = 1 J/sec, 1 cal = 4.18 J.

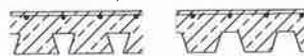
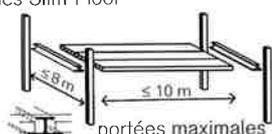
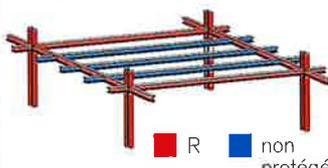
### Annexes

1. Aperçu de la conception et des dimensions des structures résistantes au feu
2. Peintures intumescentes
3. Facteurs de massiveté A<sub>m</sub>/V (ou A<sub>p</sub>/V) en [m<sup>-1</sup>]
4. Bibliographie, références

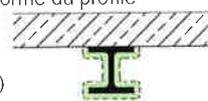
## Annexe 1: Résistance au feu: Conception, dimensions, outils de travail

Acier non protégé	Résistance au feu R30	Résistance au feu R60	Résistance au feu R90
Poteaux (1) (2) 	( $A_m/V < 50 \text{ m}^{-1}$ ) (3)   min. RND/VKT 110 min. 80 x 140  min. HHD 400 x 347	( $A_m/V \sim 10 \text{ m}^{-1}$ ) (3)   min. RND/VKT 380  min. 300 x 500	aucun en cas de taux d'utilisation maximal
Poutres mixtes avec dalles en béton collaborantes supérieures (2) 	min. HEM 260  	acier massif min. 200 x 500  	aucun en cas de taux d'utilisation maximal
Structures protégées par peinture intumescente (4) 	tous les profilés  <i>www.praever.ch</i>	tous les profilés  <i>www.praever.ch</i>	non autorisé en Suisse (possible jusqu'à R180 à l'étranger)

## Structures mixtes (5)

Poteaux (6) 	<b>SZS C1/12</b> , ECCS N° 55 norme SIA 264/1 HEA 180, RRK 140x5, ROR 140x5	<b>SZS C1/12</b> , ECCS N° 55 norme SIA 264/1 HEA 200, RRK 140x5, ROR 168,3x4,5	<b>SZS C1/12</b> , ECCS N° 55 norme SIA 264/1 HEA 240, RRK 140x5, ROR 168,3x4,5
Poutres à âmes enrobées de béton, dalle supérieure ( $\geq 120 \text{ mm}$ ) (6) 	norme SIA 264/1 min. HEA 100, IPE 120	norme SIA 264/1 min. HEA 100, IPE 200	norme SIA 264/1 min. HEA 180, IPE 300
Dalles mixtes avec tôle profilée  épaisseur moyenne de la dalle $h_{\text{eff}}$	<b>SZS C1/12</b> , EKS N° 32  $h_{\text{eff}} \geq 60 \text{ mm}$	<b>SZS C1/12</b> , EKS N° 32  $h_{\text{eff}} \geq 80 \text{ mm}$	<b>SZS C1/12</b> , EKS N° 32  $h_{\text{eff}} \geq 100 \text{ mm}$
Dalles Slim-Floor  portées maximales $\leq 8 \text{ m}$ et $\leq 10 \text{ m}$	<b>SZS C1/12</b> épaisseur d selon portée L aile inférieure apparente	<b>SZS C1/12</b> épaisseur d selon portée L armature de renfort sur aile inférieure	<b>SZS C1/12</b> épaisseur d selon portée L armature de renfort sur aile inférieure et aux appuis (évent. avec protection de l'aile inférieure)
Champs de dalles mixtes (7) 	<b>SZS C1/12</b> , SCI P288 <ul style="list-style-type: none"> <li>Poutres de rive R30</li> <li>Poutres de champs intérieurs sans protection</li> <li>Épaisseur de dalle <math>h = h_{\text{eff}} \geq 60 \text{ mm}</math> (h pour dalles pleines, <math>h_{\text{eff}}</math> pour dalles mixtes avec tôle profilée)</li> </ul>	<b>SZS C1/12</b> , SCI P288 <ul style="list-style-type: none"> <li>Poutres de rive R60</li> <li>Poutres de champs intérieurs sans protection</li> <li>Épaisseur de dalle <math>h = h_{\text{eff}} \geq 80 \text{ mm}</math> (h pour dalles pleines, <math>h_{\text{eff}}</math> pour dalles mixtes avec tôle profilée)</li> </ul>	<b>SZS C1/12</b> , SCI P288 <ul style="list-style-type: none"> <li>Poutres de rive R90</li> <li>Poutres de champs intérieurs sans protection</li> <li>Épaisseur de dalle <math>h = h_{\text{eff}} \geq 100 \text{ mm}</math> (h pour dalles pleines, <math>h_{\text{eff}}</math> pour dalles mixtes avec tôle profilée)</li> </ul>

## Acier protégé (8)

Protection par plaques, en forme de caisson  (par exemple pour poteaux)	<i>www.praever.ch</i> tous les profilés environ 18 mm d'épaisseur typique	<i>www.praever.ch</i> tous les profilés environ 30 mm d'épaisseur typique	<i>www.praever.ch</i> tous les profilés environ 40 mm d'épaisseur typique
Protection par crépis projetés épousant la forme du profilé  (par exemple pour poutres)	<i>www.praever.ch</i> tous les profilés environ 20mm d'épaisseur typique	<i>www.praever.ch</i> tous les profilés environ 30 mm d'épaisseur typique	<i>www.praever.ch</i> tous les profilés environ 45 mm d'épaisseur typique

- Dimensions calculées avec le nomogramme, données pour poteaux continus sur hauteur d'étage de 3 m, ( $L_{K,b} = 0,5 L$ ),  $f_{y,20^\circ\text{C}} = 235 \text{ N/mm}^2$ .
- Des dimensions inférieures sont aussi possibles pour des d'utilisation réduits (voir nomogramme).
- Facteur de massivité  $A_m/V$  (resp.  $U/A$  selon désignation précédente, toujours utilisée en protection incendie).
- L'utilisation nécessite l'approbation des autorités de protection incendie propre à chaque ouvrage.
- Béton toujours armé, sauf pour les profils creux R30.

- Dimensions minimales en cas de d'utilisation réduite.
  - Grâce à l'effet membrane, seules les poutres de rive des champs de dalle doivent être protégées R30/R60/R90.
  - Produits de protection selon le Répertoire de la protection incendie de l'AEA, utilisation et conditions de bord constructives comme testé et approuvé (responsabilité AS de la direction des travaux). Epaisseurs données dans le répertoire de la protection incendie valables pour taux d'utilisation maximaux et  $T_{\text{crit}} = 500^\circ\text{C}$ .
- Sources de renseignements, vérification de la résistance au feu par le calcul: voir le présent cahier et les références bibliographiques en italique.

## Annexe 2: Peintures intumescentes

### Mode d'action

Les revêtements d'une épaisseur de 0,3 à 3,5 mm se mettent à gonfler sous l'effet de la chaleur (dès 120–200 °C) et forment une mousse solide, compacte, à pores fins et bien isolante. Cette mousse atteint une épaisseur de 40 à 50 fois la couche de départ. La mousse ralentit l'échauffement, donc la température critique de l'acier (500–700 °C), responsable de la perte de résistance, est atteinte seulement après 30 minutes à

R 30, respectivement après 60 minutes à R 60. Pour le gonflement de la peinture intumescente, un espace libre de 50 fois l'épaisseur de couche sèche requise, au max. 80 mm, est nécessaire.

### Composants de la peinture intumescente

On distingue les systèmes à 1 et à 2 composants.

- Les systèmes à 1 composant (1 K) sont constitués de solvant ou d'eau (dispersions avec solvant ou aqueuse), de liants, de pigments et de matières de remplissage
- Les systèmes à 2 composants sont sans solvant et composés de 100% de corps solides (produits de réaction et mélanges), de pigments et de matières de remplissage

### Structure des couches

Les peintures intumescentes sont des systèmes composés d'une couche de base (protection contre la corrosion), d'une couche de peinture intumescente et, en règle générale, d'un vernis de finition (couleur au choix).

### Procédure

L'utilisation de peintures intumescentes est soumise à une autorisation propre à l'ouvrage de l'autorité de protection incendie compétente. Les demandes doivent être faites à l'aide de la formule SZS correspondante ([www.szs.ch](http://www.szs.ch)). Seuls des systèmes homologués par l'AEAI peuvent être utilisés. Ces derniers, ainsi que les épaisseurs de couches exigées sont publiées dans le Répertoire suisse de la protection incendie ([www.praever.ch](http://www.praever.ch)). Les données par défaut des épaisseurs de couche standard peuvent être optimisées avec une vérification par le calcul, en tenant compte du taux d'utilisation. Dans la publication SZS C2.5:2017 «Peintures intumescentes» (document fixant l'état de la technique, DET), l'application de revêtements de protection d'incendie est expliquée et réglée dans les documents correspondants de l'AEAI ou des autorités de protection incendie (par exemple les notes explicatives de protection incendie).

### Restrictions d'applications

Les parties de construction métalliques exposées munies de peinture intumescente doivent être protégées durablement contre les dommages mécaniques. Une distance suffisante doit être respectée entre la peinture et le dispositif de protection ou les autres parties de construction adjacentes, de manière à ne pas faire obstacle à l'intumescence. Dans les bâtiments d'habitation, selon les circonstances, il y a lieu de prendre des mesures supplémentaires de protection incendie. En Suisse, les peintures intumescentes ne sont admises que pour les résistances au feu R 30 et R 60.

### Vérification de la résistance au feu

La vérification de la résistance au feu est fournie sur la base de la classification selon le Registre suisse de protection incendie ou par calcul en tenant compte du taux d'utilisation avec le nomogramme et des tables d'épaisseurs de couche spécifiques aux produits. En cas de faible taux d'utilisation et par conséquent de haute température critique, les épaisseurs de couche de la peinture intumescente peuvent être fortement réduites. Les formules et tables pour les vérifications sont disponibles sous [www.szs.ch](http://www.szs.ch).

### Application – analyses préalables

- Construction nouvelle ou ancienne? (Faire analyser des revêtements existants par le fournisseur du système).
- Résistance requise R 30 ou R 60?
- Structure intérieure ou exposée aux intempéries?
- Souhaits relatifs à la teinte?
- Profilés à protéger? (par exemple IPE, HEA, HEB, ROR, RRW)

### Application – conditions annexes

- Couche de base: sèche, propre, de bonne adhérence et résistante aux températures élevées (essai de quadrillage, essai à la flamme)
- Conditions climatiques: températures minimale et maximale, écart au point de rosée. L'observation stricte de l'écart au point de rosée par l'applicateur est une condition de base pour garantir la qualité du revêtement, spécialement par rapport à l'adhérence des couches, car la formation d'eau de condensation sur la surface à protéger ne peut être tolérée. Si l'écart au point de rosée est inférieur à 3 °C, les travaux d'application doivent être interrompus, ce qui peut notablement influencer les délais de construction de l'ouvrage.

### Application – mise en œuvre

En atelier (avant montage):

- Préparation des surfaces par décapage Sa 2½ selon ISO 8501-1
- Application de la couche de base en accord avec le système

Sur chantier (après montage):

- Réparer les dégâts de montage sur la couche de base
- Application giclée de peinture intumescente selon le procédé Airless (év. au rouleau)
- Application du vernis de finition après mesure des épaisseurs de couche sèche

Selon le produit, il est possible d'appliquer en usine des revêtements à 1 composant en petites épaisseurs de couche, en particulier pour R 30. Avec des revêtements à 2 composants, en raison de la dureté du revêtement, l'application en usine est en principe possible.

### Assurance qualité

- AEA: Directive 11-15 «Assurance qualité et protection incendie», notes explicatives, cahiers techniques ([www.praever.ch](http://www.praever.ch))
- SZS: Publication C2.5:2017 y c. formulaire, règlements, procès-verbal d'assurance qualité et registre des applicateurs sur site web ([www.szs.ch](http://www.szs.ch))
- Autorités de protection incendie: Notes explicatives, etc.
- Entreprises certifiées (registres AEA ou SZS des applicateurs)
- Mesure de l'épaisseur de la couche intumescente avant séchage durant l'application, par peigne de mesure
- Mesure et enregistrement de l'épaisseur après séchage, avant l'application du vernis de finition en principe par experts selon SZS C2.5:2017 ou autorisation propre à l'ouvrage de l'autorité de protection incendie
- Etablissement et remise du procès-verbal d'assurance qualité selon publication SZS C2.5:2017

### Coûts (approximation grossière)

Exemple: poutre en HEA 300, exposée au feu sur trois côtés ( $U/A = 126 \text{ m}^{-1}$ ), épaisseurs selon homologation (sans vérification par le calcul), coûts par  $\text{m}^2$  de surface à protéger

- Couche de base environ 12–15 CHF/ $\text{m}^2$
- Peinture intumescente R 30 y c. vernis de finition env. 60 CHF/ $\text{m}^2$
- Peinture intumescente R 60 y c. vernis de finition env. 120 CHF/ $\text{m}^2$

## Annexe 3: Facteurs de massivité $A_m/V$ (ou $A_p/V$ , $[A_m/V]_b$ ) in $[m^{-1}]$ des profilés laminés

pro-tégé				
<b>IPE</b>				
80	430	329	370	269
100	387	301	334	247
120	359	278	310	230
140	335	259	290	215
160	309	240	268	200
180	292	226	254	188
200	269	210	234	175
220	253	197	221	164
240	235	184	204	153
270	226	176	197	147
300	215	167	187	139
330	199	156	174	131
360	185	145	162	122
400	174	137	152	116
450	163	129	143	110
500	150	120	132	103
550	140	113	124	97
600	129	105	115	91
750-137	143	116	128	101
147	134	109	120	95
173	114	93	102	81
196	102	83	91	72
<b>PEA</b>				
120	428	329	370	271
140	408	313	354	259
160	382	295	331	244
180	354	274	308	227
200	325	253	282	210
220	298	231	259	192
240	276	214	240	178
270	265	205	230	170
300	249	192	216	160
330	228	178	199	149
360	211	165	185	138
400	200	158	175	133
450	187	149	165	126
500	172	138	152	118
550	161	129	143	111
600	147	119	131	103
<b>INP</b>				
80	401	321	345	266
100	349	283	301	235
120	309	250	268	209
140	274	225	238	189
160	252	205	219	172
180	229	187	200	158
200	211	173	184	146
220	195	160	171	135
240	183	150	160	127
260	169	139	148	118
280	158	130	138	111
300	149	123	131	104
320	140	115	123	99
340	132	109	116	94
360	124	103	109	88
380	118	98	104	85
400	112	94	99	80
450	100	84	89	72
500	90	76	80	65
550	84	70	75	61
non protégé  				

pro-tégé				
<b>HEA</b>				
100	265	184	217	137
120	267	185	220	137
140	252	173	208	129
160	234	160	192	119
180	225	155	186	115
200	211	145	174	107
220	196	133	161	99
240	178	122	147	91
260	170	117	140	87
280	164	113	135	84
300	152	104	126	78
320	141	98	117	74
340	134	94	111	71
360	128	91	107	70
400	120	86	101	67
450	112	83	96	66
500	106	80	91	64
550	104	79	90	65
600	102	78	88	65
650	99	77	87	65
700	96	76	84	64
800	94	76	83	65
900	90	74	81	64
1000	89	74	80	65
<b>HEB</b>				
100	218	153	179	115
120	201	141	166	105
140	187	130	154	97
160	169	117	139	88
180	159	110	130	82
200	147	102	121	76
220	139	96	115	72
240	130	90	107	67
260	126	87	104	65
280	123	85	102	63
300	116	80	95	60
320	109	76	91	58
340	105	74	88	57
360	102	73	85	56
400	97	70	82	55
450	93	68	79	55
500	88	67	76	54
550	87	66	75	55
600	85	66	74	55
650	84	66	74	55
700	82	65	72	55
800	81	65	72	56
900	78	64	70	56
1000	77	65	70	57
<b>HEM</b>				
100	116	85	96	65
120	111	80	92	61
140	106	75	88	57
160	99	71	82	54
180	96	68	79	51
200	91	64	75	49
220	88	62	73	47
240	73	51	60	39
non protégé  				

pro-tégé				
<b>HEM suite</b>				
260	71	50	59	38
280	70	49	58	37
300	60	42	50	32
320	59	42	50	32
340	60	43	50	33
360	60	44	50	34
400	61	45	52	35
450	62	46	53	37
500	63	48	54	39
550	64	49	55	40
600	65	50	56	42
650	66	52	58	44
700	67	53	59	45
800	68	55	60	48
900	69	57	62	50
1000	70	59	64	52
non protégé  				
<b>UNP</b>				
65	302	237	256	190
80	283	227	242	186
100	275	222	238	185
120	255	205	222	173
140	239	196	210	166
160	227	187	200	160
180	218	178	193	153
200	205	170	182	147
220	192	160	170	139
240	183	153	163	133
260	172	144	154	126
280	167	140	149	122
300	161	136	144	119
320	129	110	116	97
350	135	116	122	103
380	138	119	125	107
400	129	111	117	99
<b>UPE</b>				
80	341	258	291	209
100	322	248	278	204
120	298	233	259	195
140	282	223	247	187
160	267	212	235	180
180	254	203	225	173
200	240	193	213	165
220	223	180	198	155
240	211	171	188	148
270	199	163	178	142
300	171	141	153	124
330	153	128	138	113
360	144	121	130	107
400	133	112	120	100
non protégé  				

pro-tégé				
<b>HHD</b>				
260x54,1	214	146	176	108
260x68,2	171	117	141	88
260x93,0	127	88	105	66
260x114	104	73	86	55
260x142	86	60	71	46
260x172	72	51	59	39
320x74,2	184	127	152	95
320x97,6	141	98	117	74
320x127	110	77	91	58
320x158	89	63	74	48
320x198	72	51	60	39
320x245	60	43	50	33
360x134	125	85	104	63
360x147	114	78	95	58
360x162	105	71	87	53
360x179	95	65	79	49
360x196	87	60	72	45
400x187	94	64	78	47
400x216	82	56	68	42
400x237	76	52	63	38
400x262	69	47	57	35
400x287	63	43	52	32
400x314	58	40	48	30
400x347	53	37	44	28
400x382	49	34	40	25
400x421	45	31	37	23
400x463	41	29	34	22
400x509	38	27	31	20
400x551	35	25	29	19
400x592	33	23	28	18
400x634	31	22	26	17
400x677	30	21	25	16
400x744	27	20	23	15
400x818	25	18	21	14
400x900	23	17	19	13
400x990	22	16	18	12
400x1086	20	15	17	11
<b>HL</b>				
1000 AA	92	73	82	63
1000 A	85	68	76	58
1000 B	74	59	66	51
1000 M	67	54	60	46
1100 A	85	68	76	59
1100 B	75	60	67	52
1100 M	68	55	61	47
1100 R	59	48	53	42
non protégé  				

Facteurs de massivité pour le calcul de la résistance au feu

## Annexe 4: Références bibliographiques, sources

### Références bibliographiques

- [1] Prescriptions suisses de protection incendie AEAI 2015 (rév. 2017), Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI, Bundesgasse 20, Berne, 2017
- [2] Centre suisse de la construction métallique SZS, publication C2.5:2017 «Peintures intumescentes», téléchargeable sous [www.szs.ch](http://www.szs.ch)
- [3] Répertoire suisse de la protection incendie AEAI, Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI, Bundesgasse 20, Berne, catalogue en ligne, [www.praever.ch](http://www.praever.ch)
- [4] SN 505 260, Norme SIA 260:2013, Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses, SIA, Zurich, 2013
- [5] SN 505 261, Norme SIA 261:2014, Actions sur les structures porteuses, SIA, Zurich, 2014
- [6] SN 505 263, Norme SIA 263:2013, Construction en acier, SIA, Zurich, 2013
- [7] SN 505 264, Norme SIA 264:2014, Construction mixte acier-béton, SIA, Zurich, 2014
- [8] SN 505 264/1, Norme SIA 264/1:2014, Construction mixte acier-béton – Spécifications complémentaires, SIA, Zurich, 2014
- [9] SN EN 1991-1-2:2002 Actions sur les structures – Partie 1-2: Actions générales – Actions sur les structures soumises au feu
- [10] EN 1993-1-2 Eurocode 3: Calcul des structures en acier – Partie 1-2: Règles générales – Calcul du comportement au feu
- [11] Explanatory Document for ECCS N° 89 «Euro-nomogram» Fire Resistance of Steel Structures ECCS-EKS-CECM, 1999
- [12] Centre suisse de la construction métallique SZS, Tables de dimensionnement pour la construction mixte, publication **steelwork** C1/12, Zurich, 2012 + Corrections 2017
- [13] Centre suisse de la construction métallique SZS, Publication C2.6, Document de base steeltec 02:2015, Protection incendie des structures, téléchargeable sous [www.szs.ch](http://www.szs.ch)
- [14] Steel Construction Institute SCI, Publication SCI P288, Fire safe design: A new approach to multi-storey steel-framed buildings, SCI, Ascot, 2006
- [15] Logiciel DIFISEK OZONE - EN 1991-1-2 Annex A, ArcelorMittal ([sections.arcelormittal.com](http://sections.arcelormittal.com))
- [16] L'acier et la sécurité au feu, une approche globale, Eurofer, Bruxelles, 1993
- [17] Fontana M.: Beispiele für richtiges Konstruieren von Stahlbauten für den Brandfall, Stahlbau vol. 65 (1996), pages 60–63, Ernst & Sohn, Berlin
- [18] Hass R., Meyer-Ottens C., Richter E.: Stahlbau Brandschutz Handbuch, Ernst & Sohn, Berlin, 1993
- [19] Heinemeyer C.; Brandsicherheit durch Konstruktion und Stahlsortenwahl, RWTH Aachen, Schriftenreihe Stahlbau Heft 49, Shaker Verlag, Aix-la-Chapelle, 2004

- [20] Competitive Steel Buildings through Natural Fire Safety Concept, Final Report, Part 4 Statistics. Profil ARBED Centre de Recherches, Esch/Alzette, Mars 1999 – basé sur une étude de 40'000 incendies entre 1986 et 1995 dans le canton de Berne

### Liens Internet

#### [www.szs.ch](http://www.szs.ch)

- Centre suisse de la construction métallique (SZS)
- Vérification de la résistance au feu par le calcul: Formulaire et diagramme de flux
- Peintures intumescentes: Règlements, épaisseurs de couche pour vérification par le calcul, registre des applicateurs certifiés, procès-verbal d'assurance qualité, formulaire
- Formule de demande d'utilisation de peintures intumescentes propre à l'ouvrage
- Indications sur les logiciels de vérification de la résistance au feu (DIFISEK, OZONE, ArcelorMittal)

#### [www.praever.ch](http://www.praever.ch)

- Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI)
- Prescriptions de protection incendie 2015 (Norme de protection incendie, Directives de protection incendie), notes explicatives de protection incendie, aides de travail de protection incendie ([www.praever.ch](http://www.praever.ch))
- Répertoire suisse de la protection incendie: Eléments de construction classés; produits admis et épaisseurs exigées pour les revêtements, les crépis, les peintures intumescentes, en fonction du produit, de la forme du profilé et du facteur de massivité, avec adresses des fabricants et des revendeurs ([www.praever.ch](http://www.praever.ch))

### Adresses

#### Autorités de protection incendie

voir le site internet de l'AEAI ([www.praever.ch](http://www.praever.ch))

#### SZS-Experts en matière de protection incendie

Voir site internet du SZS ([www.szs.ch](http://www.szs.ch))

Le Centre suisse de la construction métallique détient un répertoire d'experts en matière de protection incendie, qui fournissent une assistance dans les domaines du conseil, de la conception, de la direction des travaux et du contrôle.

#### Applicateurs certifiés

- voir site internet de l'AEAI ([www.praever.ch](http://www.praever.ch)) page certification de personnes
  - voir par exemple le répertoire sur le site internet du SZS ([www.szs.ch](http://www.szs.ch))
- Experts en peintures intumescentes, voir par exemple le répertoire sur le site internet du SZS ([www.szs.ch](http://www.szs.ch))

## Remerciements

Le Centre suisse de la construction métallique adresse ses plus vifs remerciements aux entreprises et aux institutions ci-après pour leur soutien dans la publication et la diffusion de la présente documentation.



Coibentazioni SA, 6883 Novazzano, [www.coibentazioni.ch](http://www.coibentazioni.ch)  
(Protezioni antincendio, isolazioni)



Eclatin SA, 4574 Lüsslingen, [www.eclatin.ch](http://www.eclatin.ch)  
(Brandschutzanstriche, Korrosionsschutz)



Ferrotekt AG, 8902 Urdorf, [www.ferrotekt.ch](http://www.ferrotekt.ch)  
(Korrosions- und Brandschutzbeschichtungen)



G&D Isolazioni SA, 6500 Bellinzona  
(Isolazioni termiche & acustiche / vernici antifluoco)



G. Spaggiari SA, 6503 Bellinzona  
(otturazioni e vernici antifluoco)



Knauf AG, 4153 Reinach, [www.knauf.ch](http://www.knauf.ch)  
(Trockenbau-Brandschutzsysteme für Stahl- und Stahlleichtbauweise)



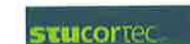
Promat AG, 8545 Rickenbach  
[www.promat.ch](http://www.promat.ch)



GROUPE ROTH, 4563 Gerlafingen, [www.rothgruppe.ch](http://www.rothgruppe.ch)  
(Protection Incendie, Isolations, Revêtements)



Sika Schweiz AG, 8048 Zürich, [www.sika.ch](http://www.sika.ch)  
(Brandschutzanstriche, Brandschutz-Spritzputze, Korrosionsschutz)



Stucortec AG, 4652 Winznau, [www.stucortec.ch](http://www.stucortec.ch)  
(Brandschutzanstriche, Korrosionsschutz)



SCE GmbH Korrosions- und Oberflächenschutzberatung  
[www.sce-gmbh.ch](http://www.sce-gmbh.ch) (Brandschutzexperten, Qualitätssicherung, Stahlbauberatung, Korrosionsschutzberatung)



Trauffer AG Bautenschutz, 3855 Brienz  
[www.trauffer-group.ch](http://www.trauffer-group.ch)  
(Oberflächen-, Brand- und Graffiti-schutz)



Tuchschnid AG, 8501 Frauenfeld, [www.tuchschnid.ch](http://www.tuchschnid.ch)  
(Brandschutzstützen Tuchschnid-ATLANT®)

Autres firmes proposant des solutions de protection incendie:

Fermacell® Sàrl Suisse, 3110 Münsingen, [www.fermacell.ch](http://www.fermacell.ch)  
(Plaques coupe-feu)

Isopermaproof AG, 7430 Thusis, [www.isopermaproof.ch](http://www.isopermaproof.ch)  
(Brandschutzanstriche, Korrosionsschutz)

Kistler AG, 3006 Bern, [www.kistlerag.ch](http://www.kistlerag.ch)  
(Brandschutzanstriche)

Spannverbund Bausysteme GmbH, 8180 Bülach, [www.spannverbund.ch](http://www.spannverbund.ch)  
(Brandsichere Stahlstützen)

# Impressum

Ce cahier a été élaboré par:

## Edition originale 2006

### Groupe de projet Protection incendie tec02/06 du Centre suisse de la construction métallique:

- Prof. dr Mario Fontana, EPF Zurich (présidence)
- Ruedi Aepli, Aepli & Co. Stahlbau, Gossau
- Matthias A. Braun, Braun Brandsicherheit AG, Winterthour
- Ulrich Brunner, Assurance immobilière, Aarau
- Jean-Paul Favre, Favre Consult, Berne
- Prof. Tullio Frangi, Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz
- Evelyn C. Frisch, SZS, Zurich
- Prof. Martin Mensinger, H. Wetter AG, Stetten et HTA Lucerne
- Rolf Möhrle, Sika Suisse SA, Winterthour
- Paul Odermatt, Kant. Amt für Feuerschutz, St-Gall
- Werner Rinderknecht, H. Wetter AG, Stetten et HTA Lucerne
- Enrico Schumacher, Assurance immobilière, Zurich
- Werner Zeberli, Institut de sécurité, Zurich
- Stephan Zingg, SZS, Zurich

## Révision 2015

### Groupe de projet Protection incendie tec02:2015 du Centre suisse de la construction métallique

- Dr Roland Bartschi, Urech Bartschi Maurer Consulting AG, Baden
- Dr Walter Borgogno, Borgogno Eggenberger + Partner AG, St. Gallen
- Antonio Ferrarese, SZS, Zurich
- Prof. dr Mario Fontana, ETH/IBK, Zurich
- Patrick Schulthess, ETH/IBK, Zurich
- Stephan Zingg, Zingg Steel Consulting, Weinfelden
- Michel Crisinel, Morrens VD
- Stephan Zingg, SZS, Zurich

## Révision 2017

- Dr Roland Bärtschi, Directeur technique SZS, Zurich
- Myriam Spinnler, Responsable des projets techniques SZS, Zurich

steeldoc 05/17, septembre 2017

Construire en acier. Documentation technique du Centre suisse de la construction métallique (tec02:2017)

Editeur:

SZS, Centre suisse de la construction métallique, Zurich  
Patric Fischli-Boson

Conception graphique:

Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich  
www.reflexivity.ch

Rédaction:

Dr Roland Bärtschi, SZS  
Myriam Spinnler, SZS

Textes:

en collaboration avec le groupe de projet Protection incendie du SZS et des planificateurs.

Traduction:

Michel Crisinel, Antenne romande SZS

Photos / Sources:

Titre: IBF/Richard Juilliart, (House of Basketball, Mies Waadt)

Editorial: Claudia Luperto, Winterthour (Sky-Frame, Frauenfeld)

Introduction: Taufik Kenan, Petzinka Pink Architekten (Landesvertretung NRW, Berlin)

Page 5: Claudia Luperto, Winterthour, Roth Gruppe, Gerlafingen;

Fig. 6: Arcelor; Fig. 11 gauche: Ruedi Walti, Bâle; Fig. 12: Stefan Röhtheli, Zurich; Fig. 24: Taufik Kenan, Petzinka Pink Architekten;

Fig. 34: Sacha Geiser, Bern; Fig. 35: Foto Ege, Lucerne;

Fig. 38: INGENI SA Genève, (FIBA, Mies)

Fig. 39-40: Performancephotography.ch (FIBA, Mies)

Fig. 41-44: Daniel Willi SA, Montreux;

Page 24 (à partir de gauche en haut): Ruedi Walti, Bâle, Tilla

Theus und Partner AG, Zurich; Foto Ege, Lucerne; Stefan Röhtheli,

Zurich, Claudia Luperto, Winterthour, Roger Frei, Zurich

Fig. 51: Sika Schweiz AG

Les autres figures ont été aimablement fournies par les bureaux

et entreprises respectifs. Les graphiques ont été en partie établis

en collaboration avec l'IBK (ETH Zurich).

Impression:

Kalt Medien AG, Zoug

ISSN 0255-3104

Abonnement annuel steeldoc:

Suisse CHF 60.- / Etranger CHF 90.-

Exemplaire unique de ce numéro CHF 30.-

Sous réserve de modification de prix.

Commande sous [www.steeldoc.ch](http://www.steeldoc.ch)

Abonnez-vous à steeldoc pour CHF 60.- par année

(étudiant: gratuit) sous [www.steeldoc.ch](http://www.steeldoc.ch)

Construire en acier / steeldoc® est une documentation relative aux bâtiments publiée par le Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par année en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent gratuitement l'abonnement annuel et les informations techniques du SZS.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. Une reproduction même partielle n'est autorisée qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication précise de la source. Les données des projets proviennent de leurs planificateurs.



**Stahlbau Zentrum Schweiz**  
**Centre suisse de la construction métallique**  
**Centro svizzero per la costruzione in acciaio**

Seefeldstrasse 25  
CH-8008 Zürich  
tél. 044 261 89 80  
fax 044 262 09 62  
info@szs.ch | www.szs.ch