

Guides de construction métallique

Sécurité incendie

Sécurité incendie et calcul de la résistance au feu
des bâtiments en acier selon l'Eurocode 3

Louis-Guy Cajot, Rik Debruyckere, Jean-Marc Franssen



Sécurité incendie

Sécurité incendie et calcul de la résistance au feu des bâtiments en acier selon l'Eurocode 3

Louis-Guy Cajot, Rik Debruyckere, Jean-Marc Franssen

Colophon

Textes : Louis-Guy Cajot, Rik Debruyckere, Jean-Marc Franssen

Basé sur : Brand - Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3 - door A.F. Hamerlinck - een uitgave van Bouwen met Staal (www.bouwenmetstaal.nl) - 2010.

Illustrations :

Toutes les photos non mentionnées ci-dessous et la base de la plupart des figures et tableaux proviennent des archives de Bouwen met Staal (www.bouwenmetstaal.nl).

Couverture: Caserne de pompiers de Puurs - architecte : Compagnie-O architecten, Gent - photo: Infosteel

Aalterpaint 1-15

ABT 1-13, p.4-1

a/d amstel architecten p.3-1

Bernard Boccara 1-29

Bouwen met Staal 1-17, 1-19, 1-20, 2-32

Y. de Groot p.0-6, p.2-1

Marc Detiffe 1-30

Fas Keuzenkamp 2-13

Infosteel 1-5, 1-31, 1-32, 2-16

Gilles Martin 1-9

S. Pedneault 1-1

Tom de Rooij Vakfotografie 1-11-links

Tyco Fire Suppression & Building Products 1-4

Edition de : Infosteel - 2012



5 Avenue Ariane
B-1200 Bruxelles
t. +32-2-509 15 01
f. +32-2-511 12 81
e. info@infosteel.be
www.infosteel.be

Tous les droits sont réservés. Tout ou partie de cette publication ne peut être reproduit, stocké ou enregistré sous forme de fichier et/ou rendu public – sous quelque forme et de quelque manière que ce soit : électronique, mécanique, par photocopie ou par tout autre moyen équivalent – sans l'accord écrit préalable de l'éditeur.

Avertissement

Le plus grand soin a été apporté à la rédaction de la version belge de l'ouvrage. Néanmoins des erreurs typographiques ou d'autres imperfections ne peuvent être totalement exclues. L'éditeur, et au besoin toutes les personnes ayant participé à la confection du livre, dégagent leur responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes pouvant résulter de ou être associées à la mise en œuvre du contenu de cette publication.

Préface

Ce livre traite, dans ses trois premiers chapitres, de la sécurité incendie et du calcul de la résistance au feu des structures de bâtiments en acier selon l'Eurocode 3.

Le chapitre 1 définit les objectifs de la sécurité incendie sur la base du déroulement d'un incendie et examine les mesures que le concepteur peut prendre afin de répondre aux exigences de sécurité incendie et aux exigences réglementaires.

Le chapitre 2 traite du calcul de la résistance au feu de structures en acier pour ce qui concerne le critère de capacité portante. Un modèle de calcul simple est donné dans les Eurocodes pour les éléments tendus, les colonnes et les poutres soumises ou non au déversement. Pour le calcul des poutres intégrées, qu'elles soient protégées ou non, on peut utiliser un modèle de calcul avancé, mais une méthode alternative simple est décrite dans cet ouvrage.

Le chapitre 3 traite de l'ingénierie de la sécurité incendie, une discipline relativement nouvelle qui utilise les modèles physiques pour décrire le déroulement d'un incendie et ses effets sur le bâtiment et ses occupants. On évoque quatre situations qui nécessitent l'utilisation de l'ingénierie de la sécurité incendie, à savoir: les feux localisés, les feux de compartiment (avec ou sans embrasement généralisé), le cas des structures en acier situées à l'extérieur du bâtiment et celui où l'on considère le comportement d'ensemble d'une ossature. Ce dernier cas est illustré par l'étude de l'effet membranaire d'un système de plancher.

Enfin, le chapitre 4 contient treize tableaux de dimensionnement qui donnent directement certains paramètres de calcul comme la réduction de la limite d'élasticité efficace, celle du module d'élasticité de l'acier, le niveau de chargement en situation d'incendie, le facteur de massivité des sections en I, la température atteinte dans l'acier après un certain temps (pour divers valeurs de ce facteur de massivité) et la température critique des colonnes (en fonction de leur niveau de chargement et de leur élancement).

R. Hamerlinck est l'auteur de la version originale écrite en néerlandais pour l'organisation homologue d'Infosteel aux Pays-Bas : *Bouwen met Staal*. Il possède une expérience considérable en tant que consultant et conférencier dans le domaine de la sécurité incendie et est fortement impliqué dans l'élaboration des règlements et des normes sur la sécurité incendie dans son pays. Infosteel a obtenu les droits de *Bouwen met Staal* pour adapter l'ouvrage néerlandais, en tenant comptes des spécificités (notamment normatives et réglementaires) du marché belge et luxembourgeois. Le présent ouvrage existe en français et en néerlandais et est le fruit du travail de trois spécialistes belges de renom : J.M. Franssen (Université de Liège), L.G. Cajot (ArcelorMittal) et R. Debruyckere (SECO et Université de Gand).

Philippe Coigné,
General Manager, Infosteel

Sommaire

1.	Sécurité incendie	1-1
1.1	Qu'est-ce que la sécurité incendie?	1-2
1.1.1	Objectifs de la sécurité incendie	1-2
	<i>La sécurité des personnes</i>	1-4
	<i>Evacuation de fumée et chemins d'évacuation</i>	1-4
	<i>Dégâts matériels</i>	1-4
1.1.2	Mesures de sécurité incendie	1-5
	<i>Choix des matériaux</i>	1-5
	<i>Gestion et entretien</i>	1-5
	<i>Chemins d'évacuation</i>	1-5
	<i>Information et formation</i>	1-5
	<i>Sprinkler</i>	1-6
	<i>Alarme incendie</i>	1-6
	<i>Compartimentage</i>	1-6
	<i>Ventilation</i>	1-6
	<i>La protection passive</i>	1-6
	<i>La conception structurale</i>	1-6
	<i>Le concept de feu naturel</i>	1-7
1.2	Développement d'un incendie	1-7
1.3	Sécurité incendie dans la conception de bâtiments	1-9
1.3.1	Concept architectural	1-9
	<i>Dimensionnement au feu</i>	1-10
	<i>Placer la structure à l'extérieur du bâtiment</i>	1-11
	<i>Structures irriguées</i>	1-11
	<i>Remplir ou enrober de béton</i>	1-12
	<i>Peinture intumescente</i>	1-13
	<i>Intégration de la structure</i>	1-14
	<i>Isolation thermique</i>	1-15
1.3.2	Concept de surveillance	1-15
	<i>Détection incendie</i>	1-15
	<i>Lutte contre l'incendie</i>	1-16
1.3.3	Concept d'extinction	1-16
	<i>Sprinklers</i>	1-17

1.4	Les exigences de sécurité incendie	1-18
1.4.1	Le cadre réglementaire	1-18
1.4.1.1	Introduction	1-18
1.4.1.2	Niveau européen	1-19
1.4.1.3	En Belgique	1-19
	<i>La réglementation fédérale</i>	1-19
	<i>Les Normes de Base</i>	1-20
	<i>Le RGPT (Article 52)</i>	1-21
	<i>Autres arrêtés royaux</i>	1-22
	<i>La réglementation régionale</i>	1-22
	<i>Réglementation communale</i>	1-22
1.4.1.4	Au Grand-Duché de Luxembourg	1-22
	<i>Prescriptions de sécurité incendie de l'Inspection du Travail et des Mines (ITM) et du Service Incendie et ambulance de la ville de Luxembourg</i>	1-22
	<i>Réglementation communale</i>	1-24
1.4.2	La sécurité de la structure en cas d'incendie	1-24
1.4.2.1	Introduction	1-24
1.4.2.2	Réaction au feu	1-24
1.4.2.3	Résistance au feu	1-26
1.4.2.4	Exigences de capacité portante	1-28
1.4.2.4.1	Généralités	1-28
1.4.2.4.2	Bâtiments industriels	1-29
	<i>Eléments structurels de type I</i>	1-29
	<i>Eléments structurels de type II</i>	1-29
1.4.2.4.3	Bâtiments et parties de structures pour lesquels il n'y a pas d'exigence	
	1-31	
	<i>Parkings ouverts</i>	1-31
	<i>Halls industriels</i>	1-31
1.4.3	Dérogations	1-32
1.4.3.1	Structures extérieures	1-32
1.4.3.2	Grands espaces ouverts	1-33
1.5	Sollicitations en cas d'incendie	1-33
1.5.1	L'approche par composant	1-34
1.5.2	La charge thermique	1-34
1.5.3	L'action mécanique	1-35
1.6	Comportement au feu des profilés en acier	1-36
1.6.1	Taux d'utilisation	1-37
1.6.2	Facteur de massivité	1-38
1.6.3	Résistance	1-39
1.7	Références	1-40

2.	Calcul de résistance au feu	2-1
2.1	Définitions et hypothèses	2-2
2.1.1	La courbe température/temps normalisée	2-3
2.1.2	La limite d'élasticité efficace de l'acier en cas d'incendie	2-3
2.1.3	Taux d'utilisation	2-3
2.1.4	Facteur de massivité	2-5
2.1.5	La température critique de l'acier	2-7
2.1.6	La classification des sections en cas d'incendie	2-7
2.1.7	Comportement des matériaux de protection	2-12
	<i>Calcul manuel</i>	2-12
2.2	Modèles de calcul	2-15
	<i>Assemblages</i>	2-15
2.3	Éléments tendus	2-16
2.4	Poutres non-susceptibles de déversement	2-17
	Exemple 2.1	2-19
	Exemple 2.2	2-21
2.5	Colonnes	2-23
	Exemple 2.3	2-26
2.6	Poutres susceptibles de déversement	2-28
	Exemple 2.4	2-29
2.7	Poutres intégrées, non-protégées	2-30
2.7.1	Introduction	2-30
2.7.2	Champ des températures	2-31
2.7.2.1	Introduction	2-31
2.7.2.2	Calcul des températures	2-32
2.7.2.3	Température dans la semelle inférieure	2-32
2.7.2.4	Température dans l'âme	2-34
2.7.2.5	Température dans la semelle supérieure	2-35
2.7.2.6	Température dans les armatures	2-35
2.7.3	Calcul de la résistance	2-36
2.7.3.1	Flexion transversale de la semelle inférieure	2-36
2.7.3.2	Cisaillement vertical	2-37
2.7.3.3	Flexion longitudinale du profilé intégré	2-37
2.7.3.4	Combinaison cisaillement et flexion longitudinale du profilé intégré	2-38
2.7.3.5	Calcul de la soudure	2-38
	Exemple 2.5	2-38
	<i>Températures dans la semelle inférieure</i>	2-39
	<i>Calcul de la hauteur h_f</i>	2-39
	<i>Température dans la semelle supérieure</i>	2-39

	<i>Cisaillement vertical</i>	2-39
	<i>Flexion longitudinale du profilé</i>	2-40
2.8	Poutres intégrées, protégées	2-41
	Exemple 2.6	2-42
2.9	Références	2-44
3.	Ingénierie de la sécurité incendie	3-2
3.1	Qu'est-ce que l'ingénierie de la sécurité incendie ?	3-2
3.2	Feux naturels ; incendies localisés	3-5
3.3	Incendies naturels, feux de compartiment	3-8
3.3.1	Historique	3-8
3.3.2	Méthode des modèles de zone	3-8
3.3.3	Feux de compartiment dans les annexes nationales belge et luxembourgeoise	3-10
3.3.4	Logiciel OZone	3-12
3.4	Incendies naturels, structure en acier à l'extérieur	3-13
3.5	Comportement d'ensemble des structures en acier	3-14
3.6	Références	3-16
4.	Tableaux de dimensionnement	4-1
Tableau 4-1		4-2
	Facteur de réduction $k_{y,\theta}$ de la limite d'élasticité suivant la formule (4.22) de l'EN 1993-4-2 en fonction de la température de l'acier θ_a	
Tableau 4-2		4-5
	Facteur de réduction $k_{y,\theta}$ de la limite d'élasticité suivant le Tableau 3.1 de l'EN 1993-4-2 en fonction de la température de l'acier θ_a	
Tableau 4-3		4-6
	Facteur de réduction du niveau de chargement en situation d'incendie η_{fi} en fonction du rapport de la charge permanente G_k et la charge variable Q_k pour plusieurs types d'utilisation avec $\gamma_G = 1,35$ en $\gamma_Q = 1,5$	
Tableau 4-4		4-9
	Température de l'acier θ_a (°C) pour un profilé en I ou en H non protégé en fonction du facteur de massivité corrigé $k_{sh} \cdot A_m / V$. Pour $k_{sh} = 1$ ce tableau est également d'application pour des profilés non protégés comme les tubes, les plats et les cornières.	

Tableau 4-5	4-12
Facteur de massiveté A/V (m^{-1}) pour les profilés IPE, HEA, HEB et HEM. Pour les profilés non protégés, le facteur de massiveté tient compte du facteur de correction pour l'effet d'ombre k_{sh}	
Tableau 4-6	4-15
Température de l'acier θ_a ($^{\circ}C$) après 30 minutes de feu normalisé pour des profilés IPE, HEA, HEB et HEM (combinaison du Tableau 4.5 avec le Tableau 4.4 pour 30 minutes)	
Tableau 4-7 - S235	4-16
Température critique de l'acier $\theta_{a,cr}$ ($^{\circ}C$) pour des colonnes en acier S235 chargées axialement.	
Tableau 4-8 - S275	4-22
Température critique de l'acier $\theta_{a,cr}$ ($^{\circ}C$) pour des colonnes en acier S275 chargées axialement.	
Tableau 4-9 - S355	4-28
Température critique de l'acier $\theta_{a,cr}$ ($^{\circ}C$) pour des colonnes en acier S355 chargées axialement.	
Tableau 4-10 - S420	4-34
Température critique de l'acier $\theta_{a,cr}$ ($^{\circ}C$) pour des colonnes en acier S420 chargées axialement.	
Tableau 4-11 - S460	4-40
Température critique de l'acier $\theta_{a,cr}$ ($^{\circ}C$) pour des colonnes en acier S460 chargées axialement.	
Tableau 4-12	4-46
Classification des profilés IPE, HEA, HEB et HEM en flexion et en compression à température ambiante et en situation d'incendie pour les nuances d'acier S235, S355, S420 et S460	
Tableau 4-13	4-48
Classification des tubes courants en compression à température normale et en situation d'incendie pour les nuances d'acier S235, S275, S355, en fonction du type de tube	

1

Sécurité incendie



1

Sécurité incendie

La sécurité incendie des constructions est un sujet que de nombreux ingénieurs de stabilité ne comptent pas dans leur domaine d'activité. Et c'est étonnant parce que l'incendie est une des actions auxquelles une construction doit résister comme c'est le cas, par exemple, du poids propre, des charges variables et du vent. En prenant en compte l'incendie dès le début du projet - au niveau fonctionnel et constructif - il est possible de trouver des solutions qui assurent à la construction une sécurité incendie suffisante à un coût minimum.

Ce chapitre décrit tout d'abord les objectifs de la sécurité incendie et les nombreuses mesures qu'un projeteur peut prendre pour répondre à ces exigences. On décrit ensuite la manière dont un incendie peut se développer - suivant le concept de sécurité incendie choisi - et les exigences de sécurité incendie imposées par les règlements. On commente aussi le concept de structure porteuse et le concept d'équivalence. Enfin, on parlera brièvement du cas de charge accidentel qu'est l'incendie ainsi que du comportement des profilés en acier à haute température.

1.1 Qu'est-ce que la sécurité incendie?

L'incendie est un phénomène où il est essentiellement question d'une réaction chimique rapide (oxydation) entre un matériau combustible (par exemple du papier ou de l'essence) et de l'oxygène. Pour qu'un incendie puisse démarrer, il faut qu'il y ait en un point une température suffisamment élevée comme, par exemple, celle d'un mégot de cigarette, celle d'un court-circuit dans un appareil électrique ou celle d'un incendie volontaire. La plus grande menace d'un incendie pour les êtres humains et les animaux, ce ne sont pas tant les flammes elles-mêmes que la fumée et les gaz chauds.

La sécurité incendie concerne les mesures prises pour prévenir autant que possible le déclenchement d'un incendie et pour limiter les risques et les conséquences de l'incendie. Ce paragraphe traite des buts de la sécurité incendie en général et donne un aperçu des possibilités dont dispose le projeteur pour assurer la sécurité incendie d'un bâtiment.

1.1.1 Objectifs de la sécurité incendie

L'incendie est, pour les êtres humains, un évènement qui présente un danger mortel (Figure 1-1). Pour cette raison, la probabilité de naissance d'un incendie et ses conséquences possibles doivent être limitées en prêtant attention à la sécurité incendie lors de la conception de la construction et pendant l'utilisation du bâtiment. La protection incendie des structures a deux objectifs :

- la protection des vies humaines ;
- la limitation des dégâts matériels directs et indirects.



Figure 1-1 : L'incendie représente une menace mortelle pour les humains.

Dans la plupart des pays, les pouvoirs publics régissent, par la réglementation liée aux constructions, la sécurité des personnes. Les règles visent à limiter la probabilité de naissance de l'incendie et, une fois qu'un incendie s'est déclaré, à limiter le nombre de victimes et à éviter qu'il ne s'étende et se propage aux bâtiments voisins. Les compagnies d'assurance s'intéressent également à la limitation des dégâts matériels, comme la perte des biens contenus dans le bâtiment et les arrêts de production.

La sécurité incendie est un aspect important pour la conception des bâtiments ; elle a une influence aussi bien sur l'architecture que sur la stabilité et les installations techniques. Les différentes stratégies de conception mises en œuvre pour assurer la sécurité incendie d'un bâtiment sont généralement constituées d'un ensemble de mesures. C'est pourquoi l'utilisation du bâtiment et les aspects organisationnels - comme l'évacuation de personnes à mobilité réduite, par exemple - jouent aussi un rôle important.

Le choix des mesures prises - c'est-à-dire le concept de sécurité incendie - dépend fortement de l'aménagement spatial et de l'utilisation du bâtiment. Par exemple, dans les bâtiments accessibles au public - comme les commerces et les bibliothèques - la sécurité incendie requise est obtenue par la combinaison d'un ou plusieurs systèmes comme des détecteurs de fumée, des extracteurs de fumée et des sprinklers. Il est faux de croire que la résistance au feu d'une structure en acier ne peut être obtenue qu'en la protégeant avec des revêtements isolants. Aujourd'hui, il existe des méthodes de calcul avancées permettant de réaliser un bâtiment résistant au feu, même avec de l'acier non protégé.

En général, la sécurité incendie se concentre sur les trois points suivants :

- la sécurité des personnes ;
- l'évacuation de fumée et les chemins d'évacuation ;
- les dégâts matériels.

La sécurité des personnes

Les mesures qui permettent d'assurer la sécurité des personnes en cas d'incendie ne dépendent pas du type de matériau de la construction. Ces mesures visent en fait à limiter le développement et l'expansion de l'incendie et à maintenir libres les voies d'évacuation. Pour évaluer la sécurité incendie, ce qui compte c'est le nombre d'occupants dans le bâtiment, leur capacité de mobilité et la durée nécessaire pour évacuer. Les mesures choisies dépendent de l'utilisation du bâtiment : s'agit-il d'un bâtiment qui compte fréquemment un grand nombre d'occupants - comme les bureaux, les hôtels, les commerces, les salles de spectacle ou les hôpitaux - ou d'un bâtiment comptant très peu d'occupants, comme les entrepôts? Par exemple, dans un hôpital, il faut pouvoir évacuer les lits horizontalement vers un autre compartiment d'où ils pourront ensuite éventuellement être emmenés vers le rez-de-chaussée par ascenseur.

Evacuation de fumée et chemins d'évacuation

En cas d'incendie, la fumée est la cause de mortalité la plus importante. La fumée contient du monoxyde de carbone très toxique et forme par ailleurs un "rideau" opaque qui entrave l'évacuation (Figure 1-2). C'est pourquoi la sécurité incendie est exprimée, dans une approche performantielle, par le temps qui est nécessaire aux occupants pour évacuer le bâtiment et dont les pompiers ont besoin pour explorer le bâtiment. Il faut qu'il y ait suffisamment de voies d'évacuation pour pouvoir quitter le bâtiment en toute sécurité. Ces voies doivent être libres de tout obstacle, clairement

signalées et rester visibles lors d'un incendie. Ce sera de préférence celles qui sont bien connues des occupants car ils les empruntent quotidiennement comme voies d'accès principales du bâtiment ou pour s'y déplacer.

Dégâts matériels

Les dégâts au bâtiment lui-même, mais aussi la perte du contenu et l'arrêt du processus de production sont les plus grandes pertes matérielles en cas d'incendie. La stratégie la plus efficace pour limiter les pertes en cas d'incendie est de prendre des mesures pour empêcher le développement d'un trop grand incendie. C'est pourquoi des mesures actives de sécurité incendie - tels des détecteurs de fumées ou des dispositifs d'extinction automatique qui limitent la propagation et les conséquences de l'incendie - sont les mesures les plus efficaces pour protéger les biens. Un compartimentage efficace et/ou des mesures actives permettant d'éviter la propagation d'un incendie sont essentiels.



Figure 1-2 : La principale cause de décès lors d'un incendie est la fumée.

1.1.2 Mesures de sécurité incendie

La Figure 1-3 donne un aperçu du but de la sécurité incendie et des mesures les plus importantes que le concepteur peut prendre afin d'une part de réduire le risque pour les personnes et d'autre part de limiter les dégâts matériels. Ces différentes mesures sont brièvement expliquées ci-dessous.

Choix des matériaux

La structure portante, les cloisons et les revêtements doivent autant que possible être composés de matériaux non inflammables, ce qui permet la limitation du risque de développement d'un incendie et sa propagation. En outre, les matériaux utilisés doivent produire un minimum de fumée afin de garantir une visibilité suffisante en cas d'évacuation et pour qu'il n'y ait aucun danger d'inhalation de produit toxique.

Gestion et entretien

Pour la prévention de l'incendie, un rôle prépondérant est assigné aux gestionnaires du bâtiment. C'est ainsi que des dispositions doivent être prises pour assurer le stockage en sécurité des matériaux dangereux pour l'incendie. En outre, les extincteurs et les portes automatiques, par exemple, doivent être bien entretenus. Toutefois, le plus important est que le personnel soit suffisamment sensibilisé à la problématique de la sécurité incendie et sache quel comportement adopter en cas d'incendie (évacuation suivant un plan préétabli et aide aux personnes moins autonomes).

Chemins d'évacuation

Une bonne disposition des chemins d'évacuation par lesquels les occupants peuvent quitter rapidement le bâtiment est le moyen le plus efficace pour éviter qu'un incendie ne fasse de victimes. Des voies d'évacuation sécurisées et les dispositifs y afférents sont ainsi prévus dans les codes de construction de tous les pays.

Information et formation

Les travaux de recherche sur le comportement humain en cas d'incendie montrent que la réaction aux premiers signaux de danger est souvent très lente. En outre, il n'est pas toujours très clair de savoir qui doit entreprendre quelle action. Dans les bâtiments recevant du public, la formation et l'entraînement du personnel sont importants, mais il faut aussi une signalisation claire des chemins d'évacuation et des mesures visant à limiter la propagation de la fumée. Dans un environnement familier et connu, les personnes en danger d'être enfumées arrivent à s'échapper par une visibilité aussi faible que 3 à 5 mètres. Dans les commerces et les édifices publics, où les occupants ne sont en général pas familiarisés avec l'environnement, le seuil critique de visibilité est beaucoup plus élevé, de l'ordre de 15 à 20 mètres.

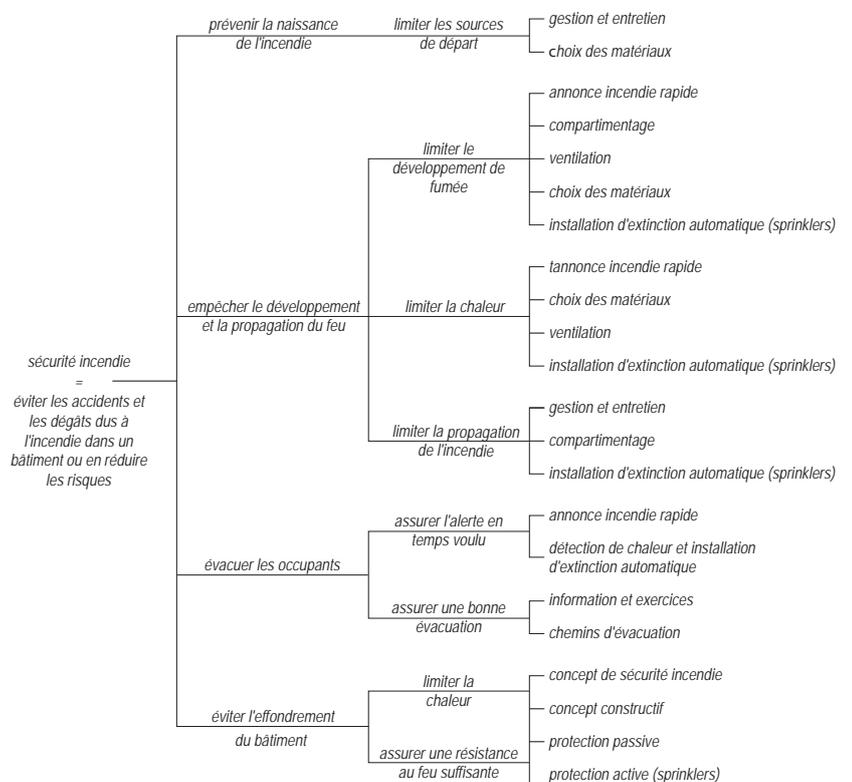


Figure 1-3 : Vue d'ensemble de la sécurité incendie et des mesures à prendre



Figure 1-4 : Des sprinklers éteignent ou limitent l'extension de l'incendie et minimisent les dégâts matériels. Grâce à l'utilisation de sprinkler, certaines exigences requises pour la sécurité incendie peuvent être diminuées, voire évitées.

Sprinkler

Une installation de sprinklage (voir Figure 1-4) contribue tout d'abord à limiter l'incendie, évitant ainsi sa propagation. Ensuite, le dégagement de fumée est limité et avec lui le risque de dégâts corporels. Comme la température reste relativement faible, les dommages au contenu du bâtiment et à la structure elle-même sont limités (voir aussi 1.3.3).

Alarme incendie

Les systèmes d'alarme incendie - le plus souvent basés sur la détection de chaleur et/ou de fumée - font en sorte que les occupants soient alertés à un stade précoce de l'incendie, de sorte que le temps disponible pour l'évacuation soit maximum. Les systèmes d'alarme incendie permettent une intervention rapide des services d'incendie, ce qui réduit le risque d'embrasement généralisé et l'étendue des dommages.

Compartmentage

La division d'un immeuble en plusieurs espaces qui sont séparés par des murs coupe-feu est un moyen efficace pour réduire les effets d'un incendie. Le compartimentage tient ainsi une place importante dans tous les codes de construction nationaux.

Ventilation

Il est essentiel de ne pas garder la chaleur et la fumée dans le bâtiment mais de les évacuer aussi vite que possible vers l'extérieur. La propagation dans le bâtiment de la fumée et de la chaleur peut, non seulement mettre les occupants en grand danger, mais aussi entraver l'action des services d'incendie.

La protection passive

La protection passive signifie que la structure porteuse est revêtue d'un matériau isolant ou enrobée de béton pour éviter l'effondrement du bâtiment sous l'effet de l'incendie (voir Figure 1-16). Cette forme de protection passive est généralement utilisée pour des structures en acier ou en bois, mais parfois aussi pour des éléments en béton. Pour les bâtiments à un seul niveau, la protection passive est le moyen le moins efficace pour prévenir les accidents et limiter les dommages économiques. Lorsque la température dans le compartiment en feu a atteint un niveau tel que la structure s'effondre, les personnes qui y seraient encore présentes sont mortes depuis longtemps. En outre, à ce stade de l'incendie, le contenu a aussi subi des dommages très importants.

La conception structurale

Même sans protection passive, il est possible d'assurer la sécurité d'une structure en acier face à un incendie conséquent en utilisant les moyens suivants :

- intégration architecturale de la structure porteuse (voir 1.3.1) ;
- dimensionnement approprié des éléments de structures et des assemblages ;
- prise en compte dans les calculs de l'interaction entre les divers éléments de structure (par exemple la redistribution des efforts vers les éléments de structures voisins qui ne sont pas exposés à l'incendie) ;

- choix judicieux de la position des éléments de structure par rapport à la localisation d'un incendie éventuel (par exemple placer l'acier à l'extérieur, devant les façades).

Le concept de feu naturel

Avec les méthodes de calcul modernes, on peut déterminer l'évolution des températures lors d'un incendie naturel avec une précision satisfaisante, voir Chapitre 3 (Ingénierie de la Sécurité Incendie). De ce fait, on peut évaluer le comportement au feu d'une structure métallique d'une manière plus réaliste qu'avec les méthodes plus traditionnelles basées sur la courbe d'incendie normalisée. Et ainsi, on peut déterminer l'épaisseur de protection nécessaire de manière plus précise. Avec les méthodes de calcul modernes, on peut même parfois démontrer qu'une structure en acier ne doit pas être protégée pour présenter une sécurité suffisante face à l'incendie (voir Figure 1-5).

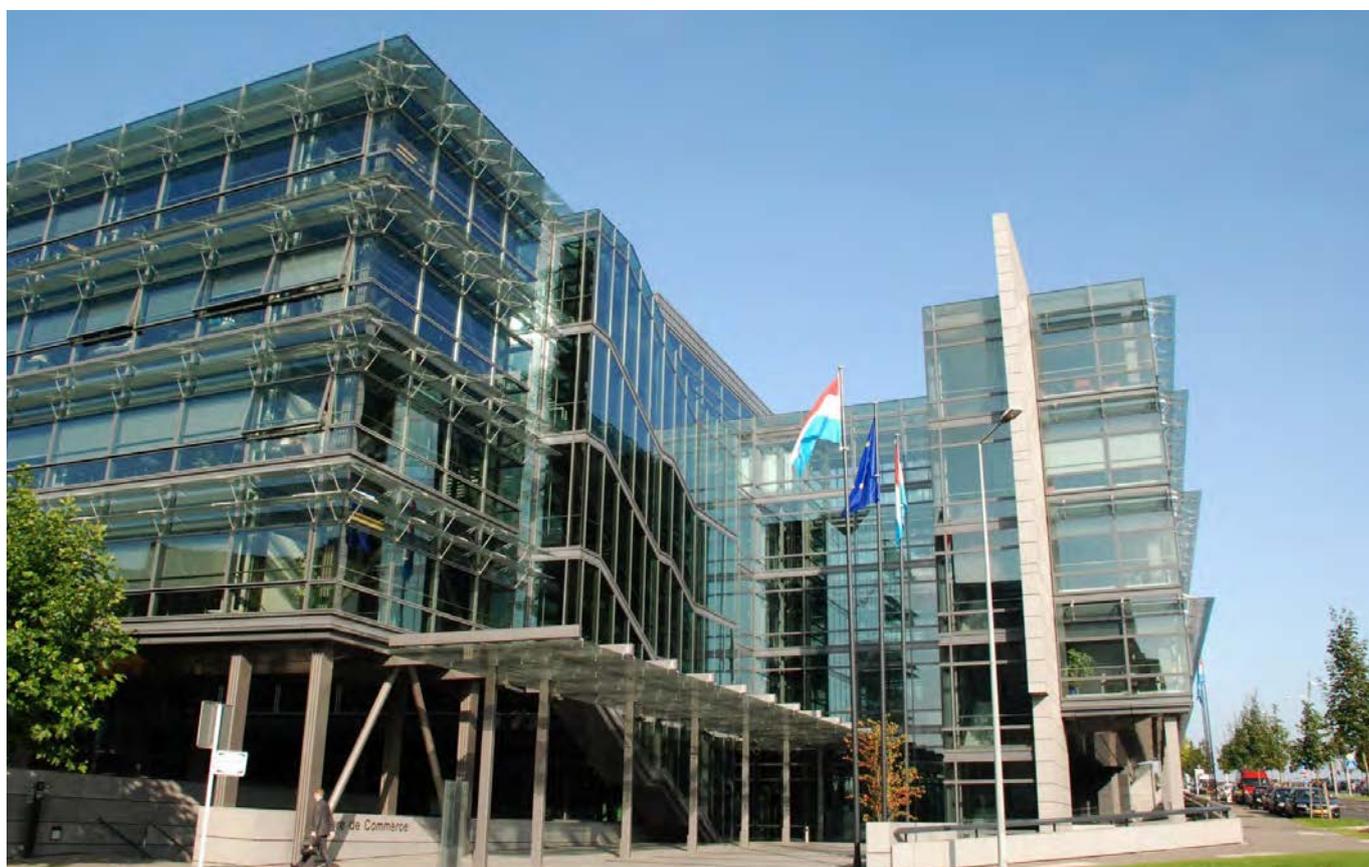


Figure 1-5 : Avec le concept d'incendie naturel, on peut parfois démontrer qu'une structure en acier n'a pas besoin de protection (Chambre de Commerce au Kirchberg, Luxembourg, LU).

1.2 Développement d'un incendie

Un incendie présente trois phases pendant son développement : la phase de croissance, la phase de développement et la phase de décroissance (Figure 1-6). La phase de croissance est importante parce qu'il n'y a que dans cette phase qu'on peut encore s'échapper du local. Si l'alarme a été donnée rapidement, il est encore possible de lutter contre l'incendie. Pendant la phase de croissance d'un incendie, les effets thermiques ne se font sentir que très localement. Les dommages à la structure du bâtiment sont faibles et le danger d'effondrement est limité. Les matériaux combustibles s'embrasent, ce qui génère de la fumée qui fait courir un risque aux occupants.

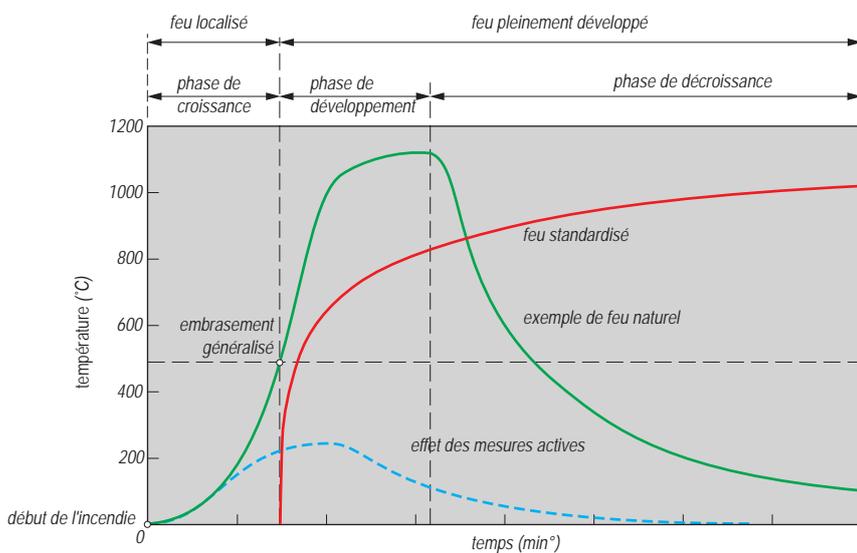


Figure 1-6 : Déroulement d'un feu naturel avec une phase de croissance, une phase de développement et une phase d'extinction

Le moment le plus dangereux est celui de l'embrasement généralisé (flash-over). Celui-ci marque la transition vers la phase de plein développement. On passe d'un feu localisé à un feu généralisé. La température des gaz chauds conduisant à l'embrasement généralisé dépend du degré d'inflammabilité des matériaux présents dans le local. Pour les matériaux cellulosiques (comme le papier et le bois), cette température est d'environ 500 °C.

Dans un feu pleinement développé, la température atteint rapidement 800 à 1000 °C. Cela peut, à la longue, mener à l'effondrement de la structure du bâtiment. Il est désormais impossible de combattre le feu dans le compartiment lui-même. Les services d'incendie ne peuvent protéger que les compartiments et les bâtiments voisins.

Le développement des températures après l'embrasement généralisé, pendant les phases de développement et de décroissance, dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la quantité de matière combustible et les conditions de ventilation sont les plus importants. Ces facteurs varient d'un cas à l'autre. Il en est donc de même pour le développement des températures lors des incendies. La Figure 1-6 montre le développement de température possible lors d'une situation réelle, ce qu'on appelle habituellement "un feu naturel". La courbe d'incendie standardisé est aussi dessinée ; il s'agit de la relation (supposée) standardisée entre la température et le temps. On peut avec cette courbe évaluer le comportement des structures aussi bien de manière expérimentale (par le biais d'essais au feu) que par calcul.

Traditionnellement, les différents composants structuraux comme les poutres et les colonnes ont été évalués en fonction de cette courbe au feu standardisée, dès les années vingt du siècle dernier. La résistance au feu est le temps (exprimé en minutes) pendant lequel un élément de construction résiste à ce feu standardisé. On suppose donc que le feu standardisé commence au moment de l'embrasement généralisé et qu'à ce moment tous les occupants ont pu quitter le bâtiment (pendant la phase de croissance).

Les méthodes de conception modernes fondées sur un feu naturel – "ingénierie de la sécurité incendie" (voir Chapitre 3) - offrent la possibilité d'une approche plus réaliste. Dans ces méthodes, le comportement au feu est évalué pour la structure dans son ensemble, ou pour une partie de celle-ci. En réalité, le développement des températures lors d'un incendie naturel détermine bien mieux que la courbe standardisée dans quelle mesure la résistance au feu exprimée en minutes correspond aux performances réelles. Le nombre de minutes de résistance à la courbe standardisée ne donne qu'un moyen de classification, auquel on ne peut accorder trop de valeur absolue (en terme de durée de résistance réelle).

Enfin, il faut noter que la résistance au feu standard d'éléments de construction ne devrait pas être interprétée comme la mesure du temps qui est disponible pour l'évacuation ou pour l'intervention des services d'incendie. Le déroulement d'un incendie réel (feu naturel) et le comportement de la structure peut différer sensiblement de celui d'un élément isolé lors d'un essai standardisé.

1.3 Sécurité incendie dans la conception de bâtiments

La sécurité incendie dans un bâtiment dépend de la façon dont un feu se développe et de la réussite des mesures de prévention. Le choix des matériaux, le type de bâtiment et l'utilisation du bâtiment déterminent en cas d'incendie la quantité et le type de matériaux embrasés et par là le développement du feu et le dégagement de fumée. Les dispositions constructives, organisationnelles ou relatives aux installations techniques - adaptées à la situation spécifique et en conjonction avec la gestion et l'entretien - déterminent le niveau de sécurité incendie du bâtiment. La sécurité incendie requiert donc une approche globale. Cet ensemble cohérent de mesures forme ce qu'on appelle le concept de sécurité incendie qui doit être mis en place en concertation entre le maître d'ouvrage, le concepteur et les services de prévention. Les concepts de sécurité incendie suivants sont disponibles :

- le concept architectural ;
- le concept de protection ;
- le concept d'extinction.

Les règlements sont souvent basés sur des exigences de conception, par exemple sur l'inflammabilité et la production de fumée des matériaux, sur le compartimentage et la séparation des constructions. En Belgique et au Grand-Duché de Luxembourg, l'utilisation de systèmes de sécurité incendie basés sur des installations techniques permet d'invoquer le principe d'équivalence pour démontrer la sécurité. Les demandeurs de la dérogation doivent démontrer l'équivalence. Avec les concepts d'extinction et de détection - qui sont de plus en plus employés - on peut atteindre un niveau élevé de sécurité incendie, même en utilisant de l'acier non protégé ou, en tout cas, avec une protection limitée.

1.3.1 Concept architectural

Le concept architectural est celui qui est le plus couramment utilisé ; il est basé sur le compartimentage, en combinaison avec la protection thermique de la structure porteuse. L'idée est que l'incendie reste confiné à un compartiment, moyennant quoi l'embrasement généralisé dans ce compartiment est acceptable (Figure 1-7). Ce concept de sécurité passive est particulièrement bien adapté aux bâtiments qui sont faciles à compartimenter.

Parce qu'il est supposé que le compartiment incendié restera la zone d'extension maximale de l'incendie, on accepte un embrasement généralisé avant que l'extinction ne débute. Le niveau de résistance au feu exigé pour les éléments de construction découle de l'exigence que l'incendie ne se propage pas

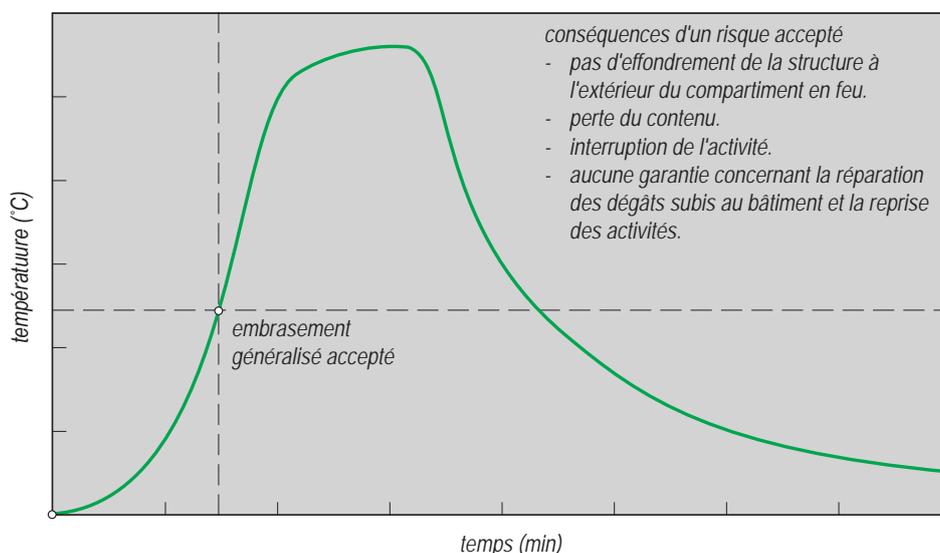


Figure 1-7 : Concept de sécurité incendie à base de dispositions architecturales. Il est supposé que l'embrasement généralisé se produit, ce qui conduit à un dégagement important de chaleur et de fumée.

au-delà du compartiment d'origine. Cela signifie que la fonction séparante et (peut-être aussi) portante des éléments de construction concernés doit être maintenue pendant la durée de l'incendie prise en compte. Lorsqu'on emploie des matériaux de construction combustibles, il faut s'assurer que l'incendie ne peut pas se propager via la structure. Grâce à des murs coupe-feu et des détails bien conçus, il faut empêcher la propagation du feu. Dans une façade bien conçue, il n'y aura pas de propagation du feu vers les étages supérieurs.

Parfois, il est plus efficace d'opter pour un concept de protection active - visant à prévenir l'embrasement généralisé - à travers le concept de détection et d'extinction. Les exigences de résistance au feu et les dispositions prises peuvent éventuellement être réduites en fonction de la probabilité de naissance d'un incendie et du risque acceptable.

Les solutions suivantes sont possibles pour un concept architectural :

- Structure en acier visible :
 - surdimensionnement (sans protection) ;
 - utilisation de structure extérieure ;
 - structure irriguée ;
 - profilés en I partiellement enrobés ou tubes remplis de béton ;
 - application de peinture intumescente.
- Structure en acier non visible :
 - intégration de la structure (voir Figure 1-16) ;
 - plaques de produits isolants.

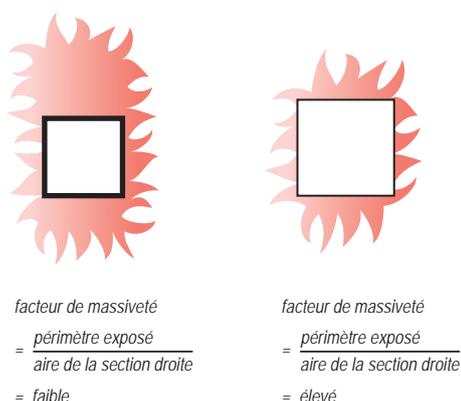


Figure 1-8 : Un élément à parois plus épaisses s'échauffe moins vite qu'un élément de même poids à parois plus minces.

Dimensionnement au feu

Pour les structures qui ne répondent pas, mais de peu, à une exigence de résistance au feu de 30 minutes, il est souvent possible de parvenir quand-même à cette performance en surdimensionnant (quelque peu) la structure par rapport à ce que la stricte résistance requiert. Ce dimensionnement face à l'incendie peut être obtenu de plusieurs manières. Par exemple :

- utilisation de profilés (légèrement) plus épais, grâce à quoi la massiveté des éléments augmente, ce qui ralentit leur échauffement. On peut, par exemple, au départ d'un tube carré de 200 x 5, passer à un tube de 200 x 6. Les calculs montrent cependant que, pour avoir un effet significatif sur les températures obtenues après 30 minutes d'incendie standardisé, il faut que le facteur de massiveté (voir 2.1.4) soit inférieur à 100 m⁻¹. Dans l'exemple ci-dessus, par exemple, l'augmentation de section de 20% aura un effet plus significatif que la réduction du facteur de massiveté de 200 à 167 m⁻¹. Dans le cas de la Figure 1-8, au contraire, l'avantage obtenu par la réduction du facteur de massiveté et donc de température lié à l'utilisation d'un profilé plus épais mais de même section sera complètement perdu par la réduction d'inertie flexionnelle (sauf s'il s'agit d'un élément tendu). On utilisera donc cette technique uniquement lorsque l'encombrement des sections est imposé pour des raisons architecturales, qu'il s'agisse de la largeur des colonnes ou de la hauteur des poutres ;
- utilisation de profilés de dimensions (légèrement) plus importantes. Dans l'exemple ci-dessus, on pourrait par exemple passer à un tube de 240 x 5. L'augmentation de raideur flexionnelle de 75% qui s'ajoute à l'augmentation de section de 20% apporte un bénéfice bien plus grand qu'une augmentation d'épaisseur ;
- utilisation d'acier avec une nuance plus élevée de sorte que le niveau relatif de contrainte soit plus faible et que le matériau puisse donc accepter une température plus élevée. Par exemple, le fait de passer d'une limite élastique de 235 MPa à une limite de 355 MPa réduit le niveau relatif des contraintes d'un tiers ;