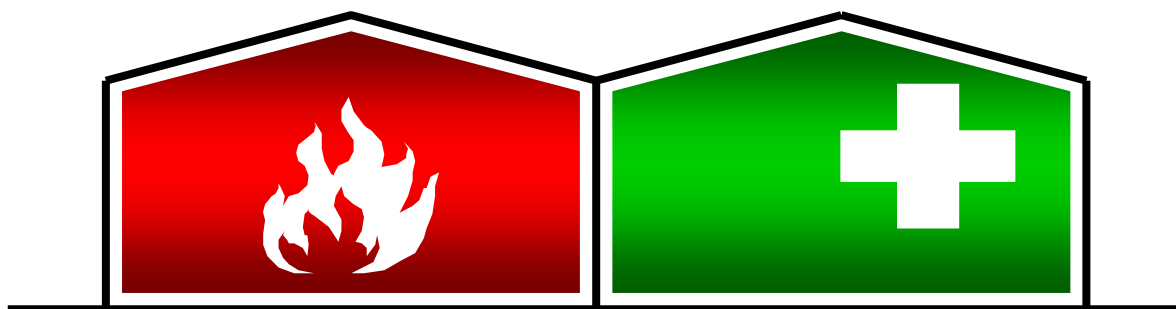


Projet mené grâce au financement du programme de recherche

*Research Fund for Coal & Steel*

RFS2-CR-2007-00032



Sécurité incendie des halls industriels

## Guide de conception





## Sommaire

1. Introduction .....	2
2. Comportement des structures en cas d'incendie .....	3
3. Champ d'application .....	5
3.1. Ce que ce guide ne fait pas.....	5
3.2. Ce que ce guide fait... ..	5
3.3. Structure et compartimentage des bâtiments de stockage.....	6
3.4. Parois coupe-feu et éléments de façade .....	7
4. Méthode de conception .....	8
4.1. Moyens de vérification .....	8
4.2. Cas.....	9
4.2.1. Travée simple.....	9
4.2.2. Travées multiples – mur coupe-feu perpendiculaire aux charpentes principales – portiques et poutres-treillis.....	10
4.2.3. Travées multiples – mur coupe-feu parallèle aux charpentes principales – portiques et poutres-treillis .....	15
4.3. Comment utiliser les valeurs .....	15
5. Logiciel « LUCA ».....	16
5.1. Introduction .....	16
5.2. Description, Input & Output .....	16
5.3. Rapports.....	17
5.4. Captures d'écran du logiciel .....	17
6. Recommandations de conception.....	21
6.1. Parois coupe-feu .....	21
6.1.1. Accrochage d'éléments de façade et de cloisons à la structure en acier .....	21
6.1.2. Structures en acier proches des cloisons .....	22
6.1.3. Toit au-dessus des cloisons .....	22
6.2. Parois coupe-feu perpendiculaires à la charpente en acier.....	23
6.2.1. Paroi coupe-feu entre les semelles de la colonne.....	23
6.2.2. Paroi coupe-feu fixée à l'une des semelles de la colonne.....	24
6.3. Parois coupe-feu parallèles à la charpente en acier .....	25
6.3.1. Paroi coupe-feu dans le plan de la charpente en acier .....	25
6.3.2. Paroi coupe-feu attachée à la charpente en acier .....	26
6.3.3. Paroi coupe-feu entre deux charpentes en acier .....	27
6.4. Recommandations pour systèmes de contreventement.....	27
6.4.1. Parois coupe-feu perpendiculaires aux charpentes en acier .....	27
6.4.2. Parois coupe-feu parallèles aux charpentes en acier .....	28
6.5. Recommandations complémentaires pour portiques simples en acier .....	29
7. Références .....	30



## 1. Introduction

Ce Guide de conception est une réponse de l'industrie de l'acier aux nouvelles réglementations en matière de sécurité incendie récemment mises en place dans de nombreux pays européens. À la suite de travaux de recherche approfondis, financés par le projet RFCS [6], une méthodologie et des recommandations en matière de conception de halls industriels de plain-pied ont été développées. Ces résultats découlent d'une étude numérique et paramétrique réalisée sur des structures constituées de portiques ou de poutres-treillis de différentes hauteurs et différentes portées. La simulation utilise la courbe d'incendie ISO. La conception d'une structure hors du champ d'analyse n'est pas recommandée, sauf en tant que conception préliminaire devant ensuite faire l'objet d'une validation.

Les dimensions prises en compte dans le projet, typiques pour des halls industriels, sont les suivantes :

- ⇒ portée pour travée simple : 15 m, 20 m et 30 m ;
- ⇒ portée pour travées multiples : 20 m, 30 m et 40 m ;
- ⇒ hauteur pour travée simple : 5 m, 7,5 m et 12,5 m ;
- ⇒ hauteur pour travées multiples : 7,5 m, 12,5 m et 20 m ;
- ⇒ pente : 0° à 10° ;
- ⇒ nombre de travées : 1, 3 et 5 ;
- ⇒ poutre-treillis : cornières de 50 x 50 x 5 jusqu'à 120 x 120 x 12.

L'objectif principal de ce travail de recherche est de prouver qu'en l'absence de protection au feu passive, la sécurité incendie des bâtiments industriels de plain-pied est suffisante. Des analyses de risques et des simulations structurelles ont permis de démontrer que la sécurité des occupants et des pompiers est garantie par les critères suivants :

- **critère de « non-effondrement vers l'extérieur » : en cas d'incendie survenant dans l'un des compartiments du bâtiment, la structure ne s'effondre pas vers l'extérieur du bâtiment ;**
- **critère d' « effondrement non progressif » : en cas d'incendie survenant dans l'un des compartiments du bâtiment, la ruine locale du compartiment n'entraîne pas l'effondrement des compartiments adjacents.**

L'objectif de ce guide de conception est de fournir aux bureaux d'ingénieurs des règles de conception et des méthodes de calcul simplifiées garantissant que le comportement structurel du bâtiment industriel (structure portante, éléments de façade, toiture et parois coupe-feu) répond aux critères susmentionnés, garantissant ainsi la sécurité des personnes (occupants et pompiers).



## 2. Comportement des structures en cas d'incendie

Le comportement des structures à travées multiples (portiques) en cas d'incendie peut être séparé en deux phases successives présentant des comportements structurels différents.<sup>1</sup>

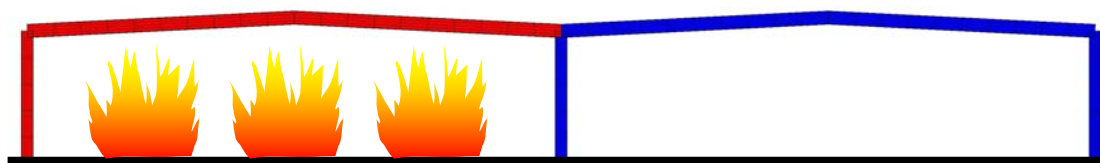


Figure 2.1 : conditions de réchauffement.

La **première phase** correspond à la dilatation thermique des éléments chauffés. Au cours de cette phase, on peut observer les événements suivants :

- **une augmentation progressive des déplacements latéraux vers l'extérieur du compartiment d'incendie au sommet des colonnes soutenant la toiture ;**
- **une augmentation progressive des efforts internes (effort de compression supplémentaire) dans les poutres chauffées. Ces efforts de compression sont dus à la résistance axiale de la partie froide de la structure à l'allongement thermique.**

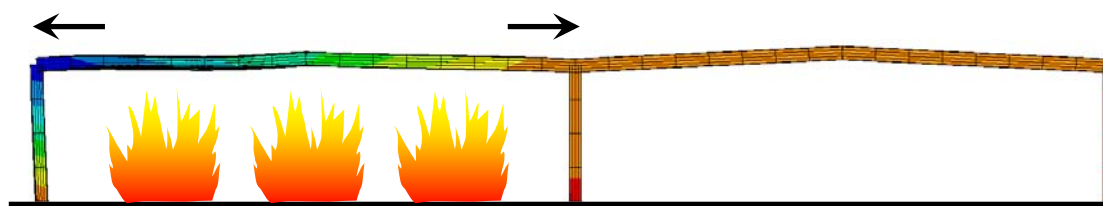


Figure 2.2 : déformation pendant la phase de dilatation.

La **seconde phase** correspond à l'effondrement de la partie chauffée de la structure. Au cours de cette phase, on réalise les observations suivantes :

- **la poutre passe progressivement d'un état de contrainte combinant flexion et compression à un état de traction simple ;**

<sup>1</sup>Note : le fait que les colonnes internes situées au niveau des parois coupe-feu restent à température ambiante constitue une hypothèse très importante des analyses comportementales présentées ci-dessous.



- dès le début de cette phase, les déplacements aux extrémités du compartiment changent de sens : les sommets des colonnes externes reviennent à leur place initiale et se déplacent ensuite vers l'intérieur du compartiment d'incendie ;

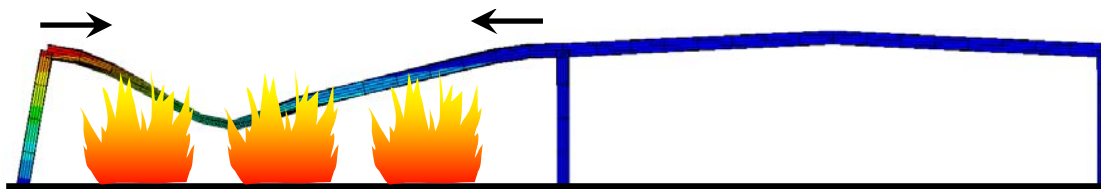


Figure 2.3 : déformation pendant la phase d'effondrement.

- la poutre chauffée se comporte comme une chaînette soumise à des efforts de traction significatifs ;
- le déplacement latéral au sommet des colonnes situées en bordure du compartiment non chauffé et les efforts de traction atteignent l'état limite et diminuent ensuite fortement en raison de l'effondrement de la poutre chauffée ;
- si la rigidité de la partie froide est suffisante, la structure chauffée s'effondre à l'intérieur du compartiment d'incendie lors de la phase finale. Si sa résistance est suffisante, la partie froide reste debout et ne s'effondre pas.

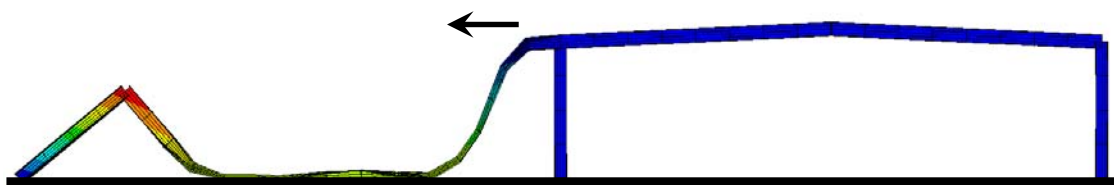


Figure 2.4 : déformation à la fin de la phase d'effondrement.



### 3. Champ d'application

#### 3.1. Ce que ce guide ne fait pas...

Le présent guide de conception :

- **n'explique pas comment calculer la résistance au feu des structures ;**
- **ne définit pas la résistance au feu exigée par les réglementations en vigueur ;**
- **n'explique pas comment calculer la stabilité d'une structure à froid ;**
- **ne montre pas comment concevoir des façades ou des murs coupe-feu.**

#### 3.2. Ce que ce guide fait...

Ce guide de conception illustre les différents modes d'effondrement possibles des halls industriels devant être évités, et propose quelques méthodes pour éviter ces modes de ruine. Les effondrements exposés sont les suivants :

- **effondrement d'une structure vers l'extérieur ;**
- **effondrement de façades ou de murs coupe-feu vers l'extérieur ;**

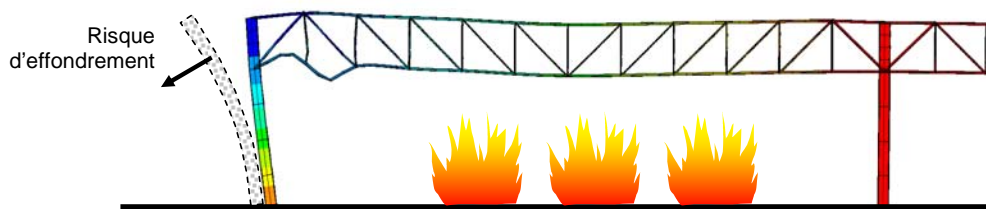


Figure 3-1 : risque d'effondrement de la façade vers l'extérieur lors de la phase de dilatation.

- **effondrement de structures froides adjacentes – effondrement progressif.**

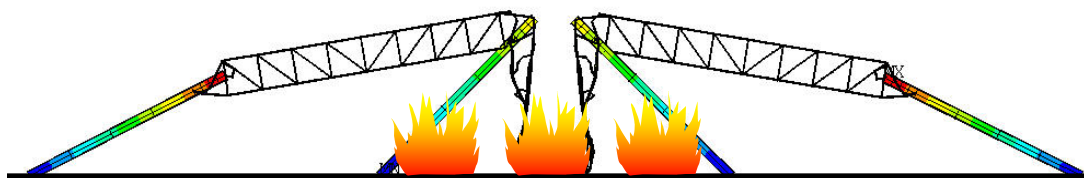


Figure 3-2 : risque d'effondrement progressif de la structure portante.



### 3.3. Structure et compartimentage des bâtiments de stockage

Le présent document s'applique aux bâtiments de stockage répondant aux conditions suivantes :

- **bâtiments de stockage à structure en acier ; qu'il s'agisse de portiques (profilés standards, en H ou en I, laminés à chaud, ou profilés reconstitués soudés équivalents) ou de poutres-treillis et colonnes (profilés standards, en H ou en I, laminés à chaud, ou profilés reconstitués soudés équivalents) ;**
- **bâtiments de stockage subdivisés en une ou plusieurs cellules séparées l'une de l'autre par des parois coupe-feu. Ces murs peuvent être perpendiculaires ou parallèles aux portiques en acier.**

La Figure 3-3 et la Figure 3-4 montrent des exemples d'ossatures en acier ainsi que les emplacements possibles des parois coupe-feu à l'intérieur du bâtiment.

On suppose que l'incendie se propage dans tout le compartiment d'incendie.

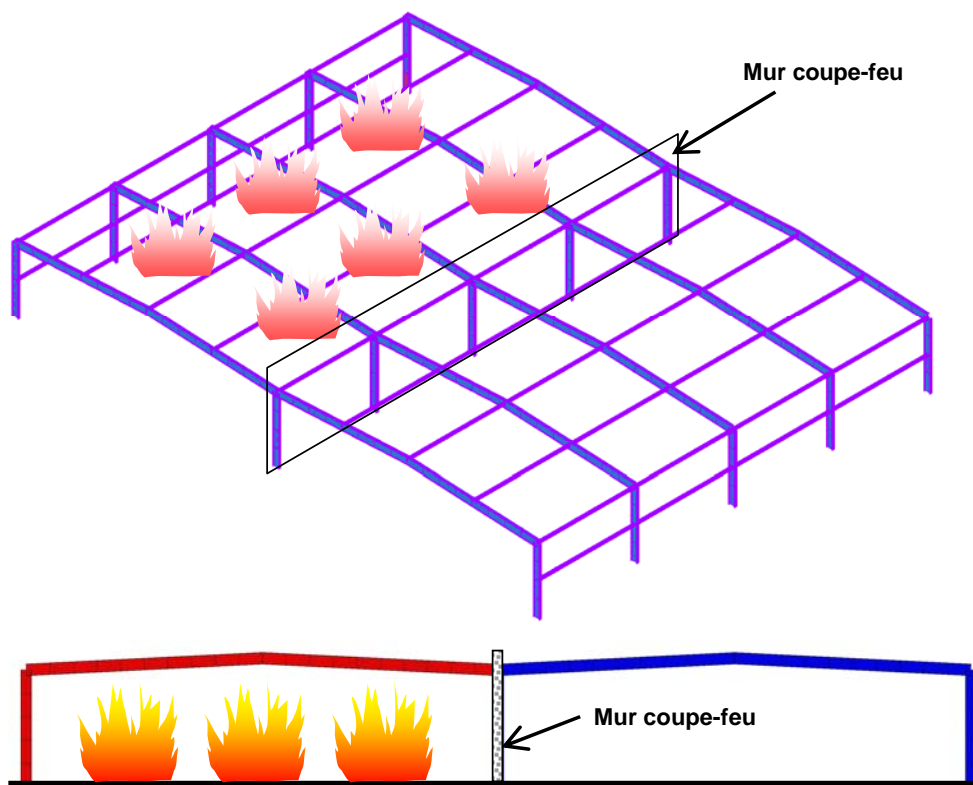


Figure 3-3 : paroi coupe-feu perpendiculaire aux portiques.

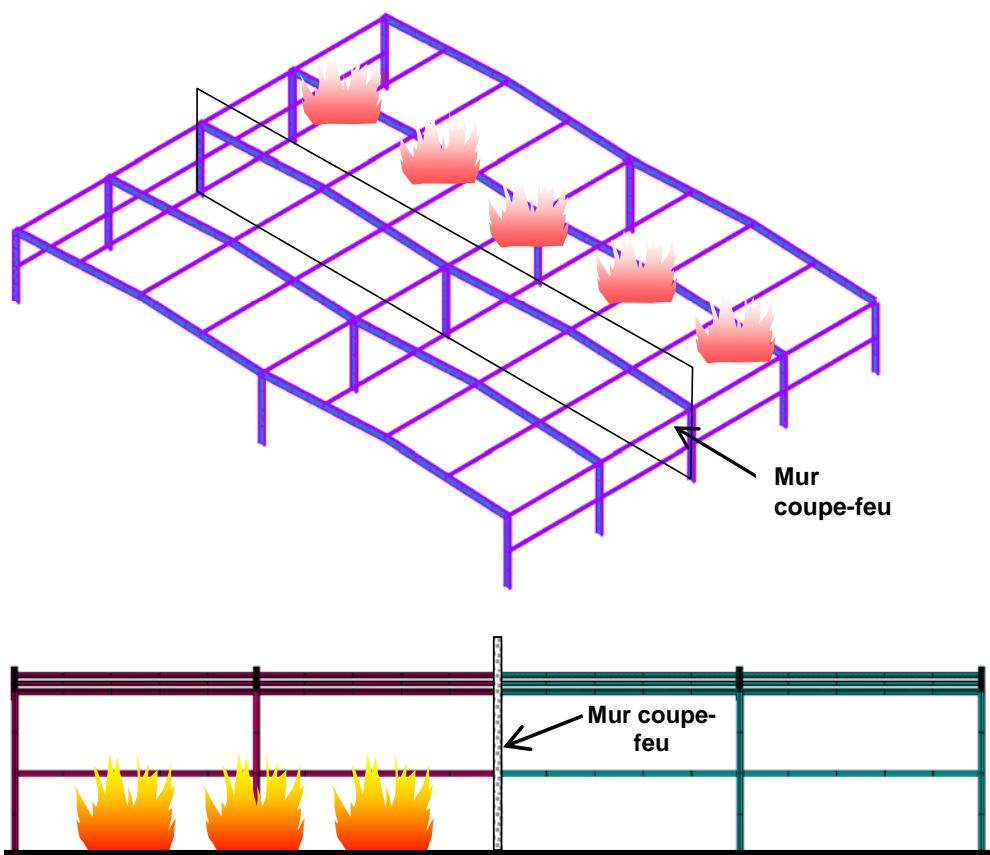


Figure 3-4 : paroi coupe-feu parallèle aux portiques.

### 3.4. Parois coupe-feu et éléments de façade

Les recommandations exposées au chapitre 6 du présent document s'appliquent à n'importe quel type de paroi coupe-feu construite en béton léger, en béton armé, en blocs creux, en panneaux sandwiches en tôles d'acier avec isolant, en plaques de plâtre, en briques, ou tout autre matériau.

Toutefois, les murs coupe-feu doivent être suffisamment flexibles, ou fixés de manière appropriée, afin de rester compatibles avec les déplacements latéraux de la structure en acier soumise à l'incendie.

Il n'y a aucune limitation concernant le type d'éléments de façade utilisé. Toutefois, quel que soit le type de façade, son adéquation structurelle, son intégrité et sa compatibilité vis-à-vis des mouvements de la structure en acier doivent être garanties. De cette manière, les éléments céderont avec la structure vers l'intérieur du bâtiment en cas d'effondrement.

L'utilisation de façades autostables **n'est pas conseillée** ; celles-ci se dirigent toujours vers l'extérieur à la suite des effets du fléchissement thermique. Ces façades seront uniquement mises en œuvre si leur comportement est évalué par un modèle de calcul



avancé prenant en compte les effets du second ordre, ou si leur structure portante est située à l'extérieur du bâtiment et donc suffisamment protégée du réchauffement pour demeurer stable.

Il faut en outre prendre en compte le déplacement de la structure vers l'extérieur au cours de la phase de dilatation, même s'il est possible qu'elle ne s'effondre pas lors de cette phase. Les éléments de façade doivent donc être à même d'absorber ce mouvement. Par la suite, la structure bouge dans le sens opposé, vers l'intérieur du bâtiment (voir le chapitre « Comportement des structures en cas d'incendie »). Les éléments de façade doivent donc être attachés à la structure en acier de façon à s'effondrer avec elle vers l'intérieur du bâtiment.

## 4. Méthode de conception

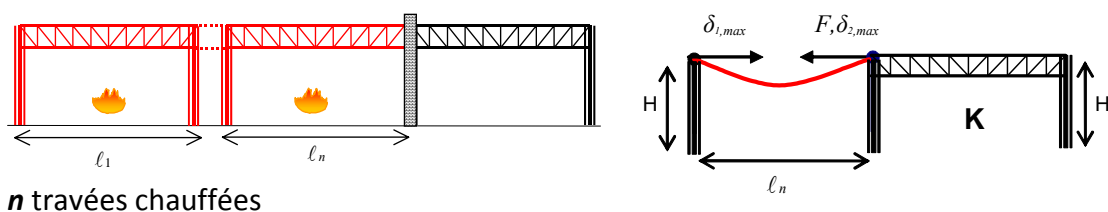
### 4.1. Moyens de vérification

#### ➤ Effondrement vers l'extérieur

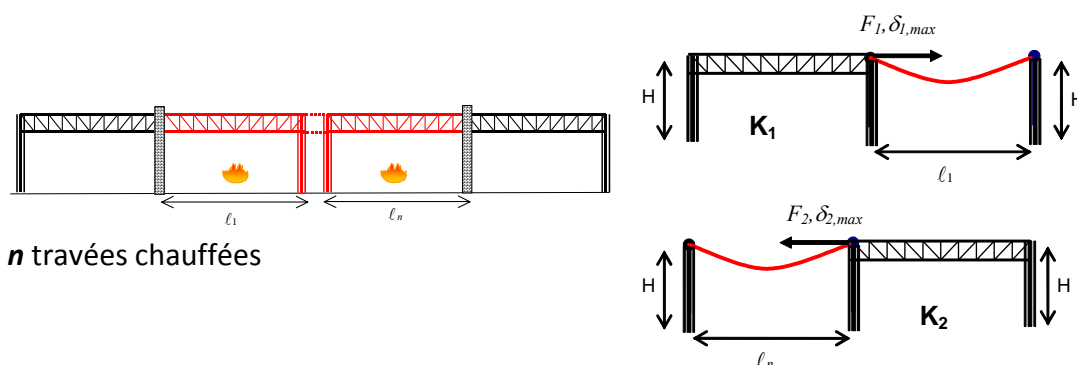
Évaluation de la possibilité d'effondrement de la structure vers l'extérieur du compartiment d'incendie.

#### ➤ Effort de traction

Calcul des efforts de traction apparaissant au sommet de la partie froide du portique suite à un incendie dans le compartiment adjacent. Ces efforts permettent de vérifier la stabilité du reste de la structure froide.



a) Compartiment d'incendie à l'extrémité du bâtiment de stockage



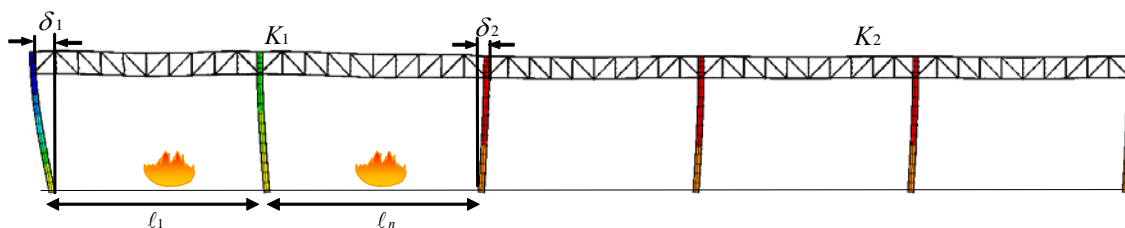
b) Compartiment d'incendie au centre du bâtiment de stockage

Figure 4-1 : déplacements et efforts maximaux transmis aux parties froides de la structure.



➤ **Déplacements latéraux**

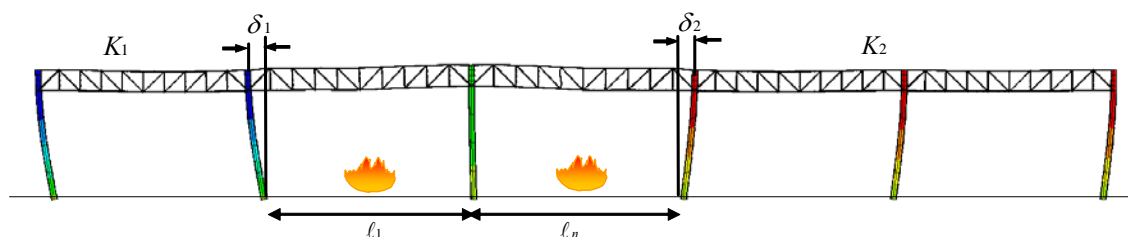
Calcul des déplacements latéraux maximum apparaissant au sommet de la partie chauffée de la charpente suite à la dilatation thermique des poutres dans le compartiment d'incendie. Le déplacement latéral maximum est utilisé pour évaluer la stabilité des parois coupe-feu et des façades.



$K_2$  est la rigidité latérale de l'ossature en acier de la partie froide.

$K_1$  est la rigidité latérale de l'ossature en acier du compartiment d'incendie.

a) Compartiment en feu à une extrémité du bâtiment de stockage



$K_1$  et  $K_2$  sont les rigidités latérales équivalentes des ossatures en acier des parties froides.

b) Compartiment en feu au centre du bâtiment de stockage

Figure 4-2 : déplacements latéraux de la structure au cours de la phase de dilatation.

**4.2. Cas**

**4.2.1. Travée simple**

➤ **Effondrement vers l'extérieur**

L'effondrement vers l'extérieur du compartiment est évité si l'équation 4-1 est vérifiée :

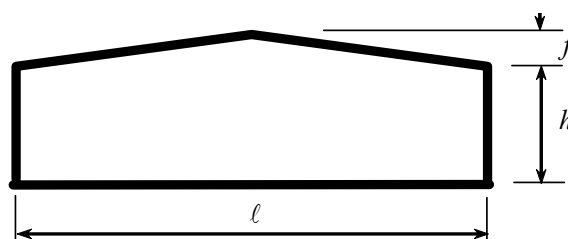
$$h/l < 0,4$$

Équation 4-1

où

$h$  est la hauteur des colonnes ;

$l$  est la portée de la poutre.





➤ **Effort de traction**

Ne s'applique pas.

➤ **Déplacement latéral**

$$\delta_i = 0,5\% \cdot l$$

Équation 4-2

**4.2.2. Travées multiples – mur coupe-feu perpendiculaire aux charpentes principales – portiques et poutres-treillis**

➤ **Effondrement vers l'extérieur**

Ne se produit jamais [6] pour des bâtiments de 20 m de hauteur ou moins.

➤ **Effort de traction**

Étape 1 – Coefficient  $c_p$  relatif à la pente du toit

⇒ Portique

$$c_p = \begin{cases} 1,19 & \text{pour pente de } 0\% \\ 1,16 & \text{pour pente de } 5\% \\ 1,10 & \text{pour pente de } 10\% \end{cases} \quad \text{Équation 4-3}$$

⇒ Poutre-treillis

$$c_p = 1,45$$

Équation 4-4

Étape 2 – Coefficient  $n_{eff}$  relatif au nombre  $n$  de travées chauffées dans le compartiment d'incendie

⇒ Portique

$$n_{eff} = \begin{cases} \left. \begin{array}{l} 0,5 \text{ à l'extrémité de l'ossature} \\ 1,0 \text{ au milieu de l'ossature} \end{array} \right\} & \text{pour } n = 1 \text{ (une travée en feu)} \\ \left. \begin{array}{l} 1,0 \text{ à l'extrémité de l'ossature} \\ 2,0 \text{ au milieu de l'ossature} \end{array} \right\} & \text{pour } n \geq 2 \text{ (plus d'une travée en feu)} \end{cases}$$

Équation 4-5



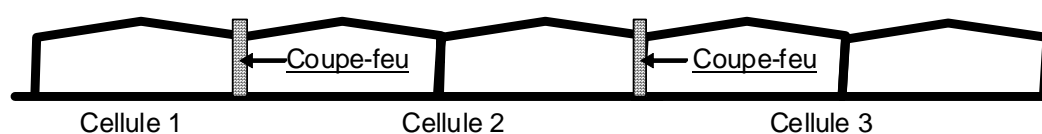
⇒ Poutre-treillis

$$n_{eff} = \begin{cases} 0,6 & \text{à l'extrémité de l'ossature} \\ 1,0 & \text{au milieu de l'ossature} \end{cases} \left. \vphantom{n_{eff}} \right\} \text{pour } n = 1 \text{ (une travée en feu)}$$

$$n_{eff} = \begin{cases} 1,0 & \text{à l'extrémité de l'ossature} \\ 1,0 & \text{au milieu de l'ossature} \end{cases} \left. \vphantom{n_{eff}} \right\} \text{pour } n \geq 2 \text{ (plus d'une travée en feu)}$$

Équation 4-6

Exemple



Configuration d'un bâtiment de stockage (portique): 5 travées et 3 compartiments



**3 scénarios d'incendie sont à considérer**



Scénario 1 : incendie dans la cellule 1 (extrémité), une travée en feu ( $n = 1$ ),  $n_{eff} = 0,5$



Scénario 2 : incendie dans la cellule 2 (milieu), deux travées en feu ( $n = 2$ ),  $n_{eff} = 2,0$



Scénario 3 : incendie dans la cellule 3 (extrémité), deux travées en feu ( $n = 2$ ),  $n_{eff} = 1,0$

Figure 4-3 : scénarios d'incendie dans un bâtiment de stockage à 3 compartiments.

Étape 3 – Charge verticale  $q^2$

$$q = G + 0,2 S$$

Équation 4-7

<sup>2</sup> Note : la valeur de conception de la charge appliquée en cas d'incendie « q » sera calculée, si nécessaire, sur base des coefficients de combinaison de charge définis dans les Annexes nationales correspondantes. Dans ce cas, on n'utilisera pas l'équation 4-7.



où

$G$  est la charge morte ;

$S$  est la charge de neige caractéristique en cas d'incendie.

Étape 4 – Effort de traction  $F$  au sommet des colonnes (Figure 4-1 : déplacements et efforts maximaux transmis aux parties froides de la structure.)

$$F = c_p n_{eff} q l \quad \text{Équation 4-8}$$

où

$l$  est la portée de la travée chauffée reliée à la colonne.

### ➤ Déplacement latéral

Étape 1 – Facteur de réduction  $c_{th}$  relatif à la pente du toit

⇒ Portique

$$c_{th} = \begin{cases} 0,01 & \text{pour pente de } 0\% \\ 0,011 & \text{pour pente de } 5\% \\ 0,015 & \text{pour pente de } 10\% \end{cases} \quad \text{Équation 4-9}$$

⇒ Poutre-treillis

$$c_{th} = 0,009 \quad \text{Équation 4-10}$$

Étape 2 – Rigidité latérale équivalente  $K_i$  de la partie froide de l'ossature en acier

⇒ Si le compartiment d'incendie se trouve au centre de la structure, comme le montre la Figure 4-4 :

⇒  $K_1$  et  $K_2$  doivent être calculés par une des méthodes élastiques classiques.

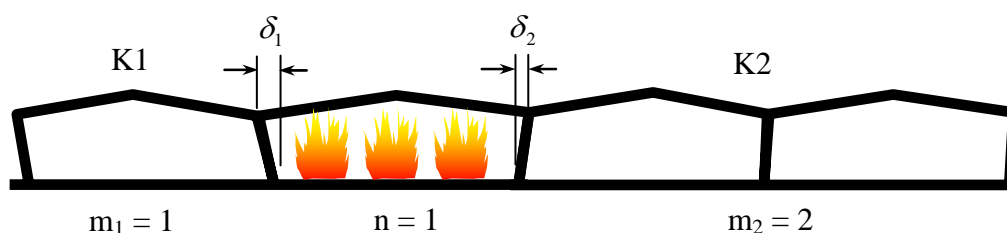


Figure 4-4 : incendie dans une cellule au centre du bâtiment de stockage.



Note :

Pour les structures courantes en acier (portée constante, profilés standards identiques d'une travée à l'autre), la rigidité latérale équivalente  $K_i$  peut être calculée de manière approximative sur base du nombre de travées froides  $m_i$  en utilisant les relations suivantes.

Pour  $m_i = 1$  :

$$K_i = k \quad \text{Équation 4-11}$$

Pour  $m_i \geq 2$  :

$$K_i = c k \quad \text{Équation 4-12}$$

avec

$$k = \frac{\alpha}{1 + 2\alpha} \frac{12EI_c}{(h + f)^3}$$

$$c = 1 + \sum_{i=2}^m \frac{i}{2} \frac{2\alpha + 1}{1 + 2i\alpha}$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_c} \frac{h + f}{l} \left(1 - \frac{f}{0,6h}\right)$$

Équation 4-13

où (comme indiqué à la Figure 4-5) :

$h$  est la hauteur des colonnes ;

$f$  est la hauteur du toit ;

$l$  est la largeur de la travée ;

$I_b$  est le moment quadratique de la poutre ;

$I_c$  est le moment quadratique de la colonne ;

$E$  est le module d'élasticité de l'acier à température normale.

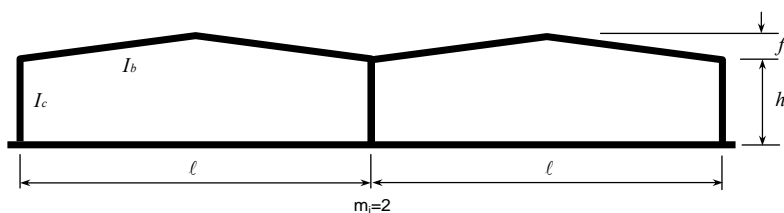


Figure 4-5 : définition des paramètres des parties froides.



⇒ Si le compartiment d'incendie est à l'extrémité de la structure :

$K_2$  doit être calculé comme pour un incendie dans un compartiment central.

$K_1$ , défini comme la rigidité latérale de l'ossature en acier du compartiment chauffé, se calcule comme suit :

$$K_1 = \begin{cases} \left. \begin{array}{l} 0,065 k \quad \text{pour } n = 1 \\ 0,13 k \quad \text{pour } n = 2 \\ 0,13 c k \quad \text{pour } n > 2 \end{array} \right\} \text{ pour des portiques} \\ \\ \left. \begin{array}{l} 0,2 K_2 \quad \text{pour } n = 1 \\ 0,3 K_2 \quad \text{pour } n \geq 2 \end{array} \right\} \text{ pour des poutres - treillis} \end{cases} \quad \text{Équation 4-14}$$

où  $k$  et  $c$  proviennent de l'équation 4-13 avec  $m = n - 1$ ,  $n$  étant le nombre de travées chauffées (voir Figure 4-6).

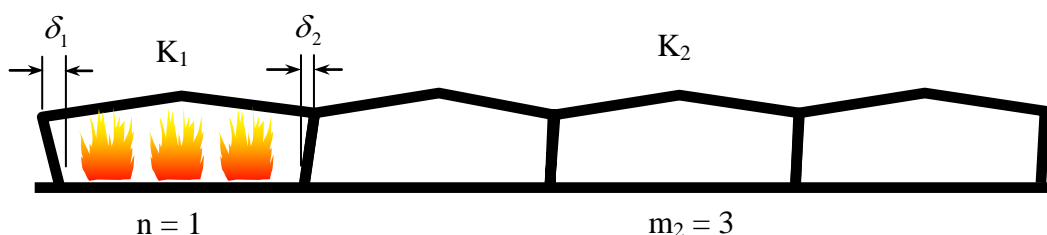


Figure 4-6 : incendie dans un compartiment à l'extrémité du bâtiment de stockage.

Étape 3 – Déplacements latéraux  $\delta_i$  au cours de la phase de dilatation (figures 4-2 et 4-6)

$$\delta_i = \begin{cases} \frac{K_t}{K_i} c_{th} \sum_{i=0}^n l_i & \text{pour une poutre-treillis} \\ \frac{K_t}{K_i} c_{th} n l & \text{à l'extrémité d'un portique} \\ \frac{c_p q}{K_i} n_{eff} l & \text{au centre d'un portique} \end{cases} \quad \text{Équation 4-15}$$

où

$n$  est le nombre de travées chauffées ;



$K_t = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$ , où  $K_1$  et  $K_2$  représentent la rigidité équivalente pour les déplacements latéraux de l'ossature en acier (Figure 4-6).

Étape 4 – Déplacement maximum  $\delta_{max,i}$  induit par l'effort de traction au sommet des colonnes (figure 4-1)

$$\delta_{max,i} = F / K_i \quad \text{Équation 4-16}$$

où

$F$  est l'effort de traction calculé grâce à l'équation 4-8.

#### **4.2.3. Travées multiples – mur coupe-feu parallèle aux charpentes principales – portiques et poutres-treillis**

Le risque d'effondrement vers l'extérieur et d'effondrement progressif (entre différents compartiments d'incendie) peut être évité en respectant tout simplement quelques recommandations données au point 6.2.

#### **4.3. Comment utiliser les valeurs**

L'effort de traction  $F$  calculé au sommet de l'ossature froide (équation 4-8) est utilisé comme surcharge horizontale supplémentaire pour vérifier la stabilité de la structure restée en place après l'incendie.

La vérification de la stabilité doit être réalisée en considérant l'acier à température ambiante, mais en situation d'incendie conformément à l'Annexe nationale de l'Eurocode (combinaison de charges et coefficients adéquats).

Le déplacement latéral maximum calculé au sommet de la structure froide restée en place est utilisé pour vérifier la stabilité de la paroi coupe-feu et des éléments de façade. La méthode de vérification dépend du type de paroi, des raccords à la structure... et n'est de ce fait pas incluse dans ce Guide de conception.



## 5. Logiciel « LUCA »

### 5.1. Introduction

L'objectif du logiciel LUCA est de simplifier le travail des différents bureaux d'ingénieurs en appliquant la méthode de calcul présentée dans ce Guide de conception.

Avec cet outil simple, la vérification de l'intégrité d'un bâtiment de plain-pied en cas d'incendie est simplifiée.

### 5.2. Description, Input & Output

Le logiciel est livré en trois langues (français, espagnol et anglais). Mais l'intégralité du programme **FS<sup>+</sup>** a été implémentée afin de donner aux utilisateurs la possibilité de le traduire facilement dans une autre langue. L'utilisateur souhaitant travailler avec le programme écrit dans une autre langue que l'une de celles fournies devra simplement traduire une série de mots et de phrases dans un fichier fourni avec le logiciel.

La fenêtre de démarrage est configurée de manière à proposer le choix de la langue (français, espagnol ou anglais). Une fois la langue sélectionnée dans le menu déroulant, tous les commentaires ultérieurs sont affichés dans cette langue, et une deuxième fenêtre s'ouvre.

Cette fenêtre reprend les conditions d'applicabilité et décrit la manière dont il faut interpréter les résultats fournis par le logiciel.

Dans la troisième fenêtre, l'utilisateur doit choisir les différents types de structures (ossatures simples, ossatures avec profilés laminés à chaud en H ou en I, ossatures avec poutres-treillis et colonnes en profilés en H ou en I).

Une fois ce choix effectué, une nouvelle fenêtre apparaît dressant la liste des données nécessaires aux calculs et devant être encodées par l'utilisateur. Par exemple, l'utilisateur doit indiquer le type de profilé utilisé pour les poutres et les colonnes, la longueur et la hauteur des charpentes, le nombre de travées dans le compartiment d'incendie et dans la partie froide, la position du compartiment d'incendie, la position du mur coupe-feu (parallèle ou perpendiculaire à la structure), la valeur de conception totale pour la charge sur le toit (en situation d'incendie)...

Une fois ces informations encodées, un bouton « Suivant » apparaît en bas de la page. Lorsque l'utilisateur clique sur ce bouton, une autre page apparaît avec les résultats des calculs (déplacements lors de la phase de dilatation, déplacements lors de la phase d'effondrement, efforts de traction au sommet des colonnes...)

Tous ces résultats sont illustrés au moyen de dessins schématiques pour une meilleure compréhension et un meilleur contrôle des données.

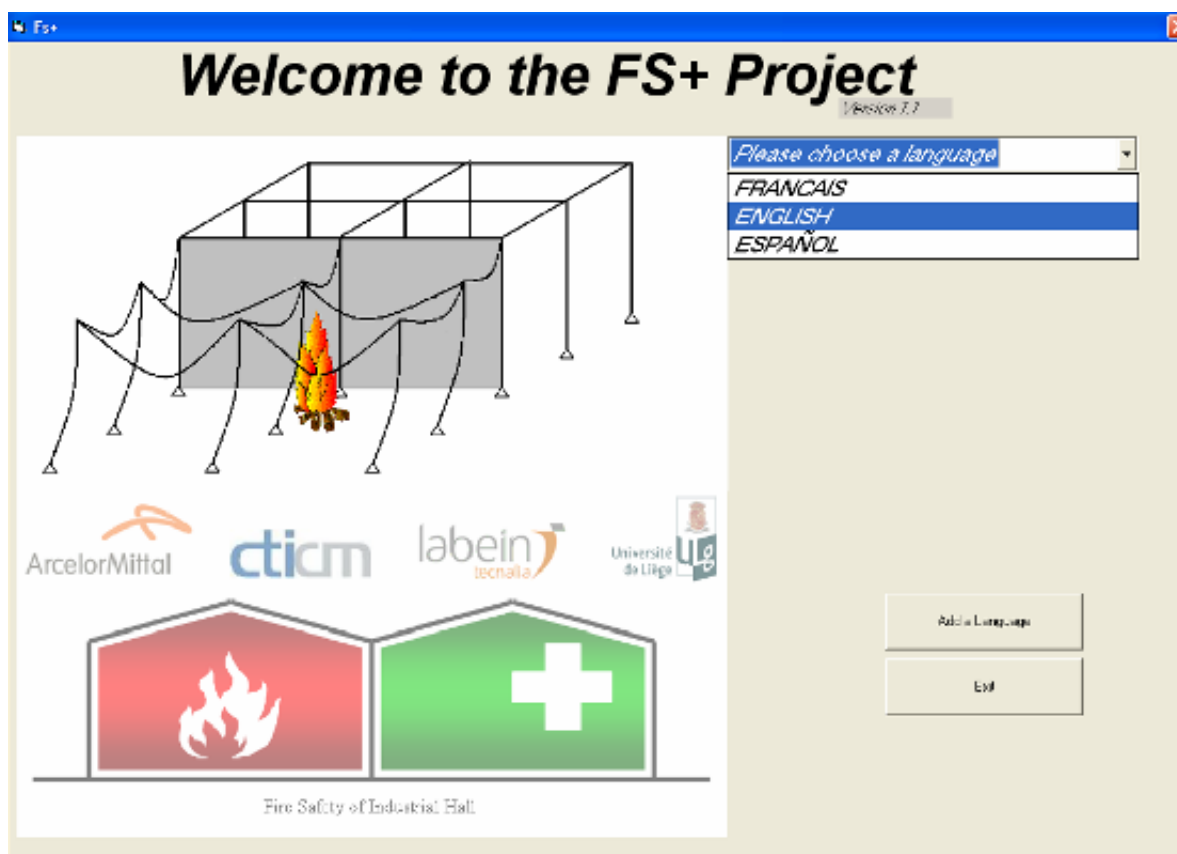


### 5.3. Rapports

Lorsque l'utilisateur clique sur le bouton « Impression », le logiciel produit un document au format PDF. Ce document contient un rapport concernant les calculs réalisés. Pour cela, le logiciel identifie un « *pdf writer* » afin de rédiger le rapport sous forme électronique ou, s'il n'y a pas de « *pdf writer* » installé sur l'ordinateur de l'utilisateur, le logiciel imprime directement le rapport via l'imprimante par défaut. Ce document rassemblera les données encodées, les résultats intermédiaires utilisés pour les calculs finaux, les résultats finaux et un résumé des équations utilisées pour les calculs.

Le résumé de ce **Guide de conception** est également directement accessible en cliquant sur le bouton « Voir les équations utilisées ».

### 5.4. Captures d'écran du logiciel





FS+

ArcelorMittal cticm labein tecnalla Université de Liège

Simple frame

Frames with cross section in H or I hot rolled profiles

Frames with lattice beams and columns in H or I

\* With an height  $H < 15$  m (inside collapse)

OK  
Previous  
Quit

Fire Safety of Industrial Hall

FS

**Enter the following parameters**

Span number of the compartment in fire (Max. 6)

Total design value of the load in the roof (fire situation)

Fire wall parallel to the frames  
 Fire Wall perpendicular to the frames

Fire compartment in the middle part of the storage building  
 Fire compartment at the edge part of the storage building

Equivalent stiffness K1  N/m  
Equivalent stiffness K2  N/m

L1  mm    L2  mm    L3  mm  
L4  mm    L5  mm    L6  mm

Need  
Previous  
Quit

ArcelorMittal cticm labein tecnalla Université de Liège



FS+

Stage of push

### Results of the calculations

Displacements induced at the compartment ends

$\delta 1$   [mm]

$\delta 2$   [mm]

Stage of pull

Horizontal tensile force at the compartment ends

$F_1$   [N]       $F_2$   [N]

Maximum displacement(s) induced at the top of the columns  
(supports of the elements of the compartment)

$\delta 1$   [mm]       $\delta 2$   [mm]

Report  
Previous  
Total

FS+

### Report

Input data

Frames with lattice beams and columns in H or I

Span number of the

Total design value of the  N/m

Fire wall parallel to the frames

Fire compartment in the middle part of the storage building

L1  mm L2  mm L3  mm L4  mm L5  mm L6  mm

Equivalent stiffness K1  N/m

Equivalent stiffness K2  N/m

$K_t (= K_1 * K_2 / (K_1 + K_2))$   N/m

### Results of the calculations

Stage of push

Displacements induced at the compartment ends

$\delta 1$   [mm]

$\delta 2$   [mm]

Stage of pull

Horizontal tensile force at the compartment ends

$F_1$   [N]       $F_2$   [N]

Maximum displacement(s) induced at the top of the columns

$\delta 1$   [mm]       $\delta 2$   [mm]

Print      Show the equations of the calculations      Previous      Quit





## 6. Recommandations de conception

Des recommandations supplémentaires en matière de conception doivent être mises en pratique afin de permettre l'effondrement de la structure en acier en cas d'incendie de chaque côté de la paroi coupe-feu sans causer de dommages à cette dernière.

### 6.1. Parois coupe-feu

Les recommandations reprises ci-dessous s'appliquent à n'importe quel type de paroi coupe-feu construite en béton léger, en béton armé, en blocs creux, en panneaux sandwichs en tôles d'acier avec isolant, en plaques de plâtre, en briques, ou tout autre matériau. Toutefois, les murs coupe-feu doivent être fixés de manière appropriée, afin de rester compatibles avec les déplacements latéraux de la structure en acier soumise à l'incendie.

#### 6.1.1. Accrochage d'éléments de façade et de cloisons à la structure en acier

Afin d'éviter tout effondrement des cloisons (parois coupe-feu) et des éléments de façade dû à des déplacements latéraux significatifs de la structure en acier, il est nécessaire de s'assurer que ces éléments restent solidement attachés à la structure.

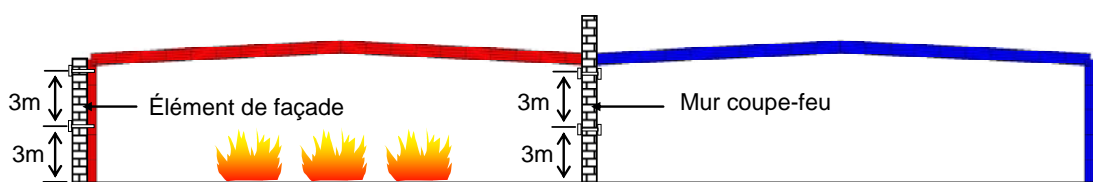


Figure 6-1 : détail de conception pour cloisons.

Une solution consiste à attacher ces éléments sur les colonnes de la structure portante au moyen de systèmes de fixations appropriés répartis uniformément sur la hauteur du bâtiment, disposés sur les colonnes et séparés par une distance maximum spécifique. Cette valeur maximum est déterminée par le fabricant de la cloison. Une distance maximum de 3 m est conseillée pour les murs construits in situ (béton, maçonnerie...)

En plus, les fixations utilisées pour relier murs coupe-feu et éléments de façade aux colonnes doivent être conçues pour résister aux efforts dus au vent et au poids propre des cloisons sous l'effet du déplacement latéral induit par la structure en acier du bâtiment de stockage. Si ces fixations sont en acier et non protégés contre le feu, elles doivent toutes être dimensionnées de façon à résister, à température ambiante, à l'effort d'arrachement suivant :

$$F = W + 5 p \delta_i d / n \quad \text{Équation 6-1}$$

où

$W$  est la charge caractéristique du vent utilisée pour le dimensionnement à température ambiante et appliquée à chaque fixation ;



$p$  est le poids propre de la paroi ;

$d$  est l'écartement entre les portiques ou les poutres-treillis ;

$n$  est le nombre total de fixations (réparties uniformément sur la hauteur) ;

$\delta_i$  est le déplacement latéral de la structure en acier.

### 6.1.2. Structures en acier proches des cloisons

Les éléments susceptibles d'endommager les murs (à proximité des murs ou croisant ceux-ci) resteront stables s'ils possèdent une résistance au feu au moins égale à celle des murs, et ce afin d'écarter les rotules plastiques des murs. Par conséquent, il est nécessaire d'ignifuger certaines parties des poutres et des colonnes.

- **L'épaisseur de la protection incendie mise en œuvre sur les colonnes et les poutres peut être facilement calculée en considérant une section en acier exposée sur quatre faces à un incendie standard, limité à 500 °C, pendant une heure.**
- **L'épaisseur de la protection incendie mise en œuvre sur les poutres-treillis peut être calculée en considérant une section en acier exposée sur quatre faces (pour les membrures inférieures, les éléments verticaux et les diagonales) ou sur trois faces (pour les membrures supérieures) à un incendie standard, limité à 500 °C, pendant une heure.**

### 6.1.3. Toit au-dessus des cloisons

Le toit ne sera pas continu d'un compartiment à l'autre :

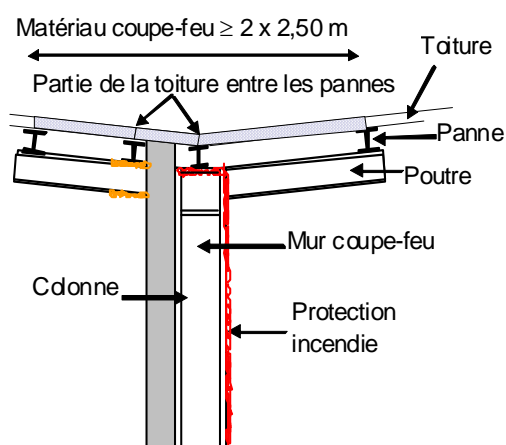


Figure 6-2 : protection du toit.

- **pannes de chaque côté de la paroi coupe-feu ;**
- **arrêter le toit de chaque côté de la paroi coupe-feu ;**



- **toiture avec matériau ignifugé sur 2,50 m de largeur de chaque côté de la paroi ;**
- **une autre possibilité est de permettre à la paroi de dépasser du toit sur une certaine hauteur.**

## 6.2. Parois coupe-feu perpendiculaires à la charpente en acier

Recommandations générales concernant la protection incendie des colonnes, poutres et pannes :

- **les COLONNES encastrées dans un mur ou proches d'un mur doivent toujours être ignifugées ;**
- **les POUTRES qui croisent les murs doivent être protégées sur une certaine distance à partir du mur coupe-feu. Dans le cas de portiques, cette distance minimum doit être de 200 mm ; pour les poutres-treillis, la distance minimum est celle séparant le mur du premier membre vertical de la poutre ;**
- **les PANNES ne croisent jamais les parois, il n'est donc pas nécessaire de les ignifuger.**

### 6.2.1. Paroi coupe-feu entre les semelles de la colonne

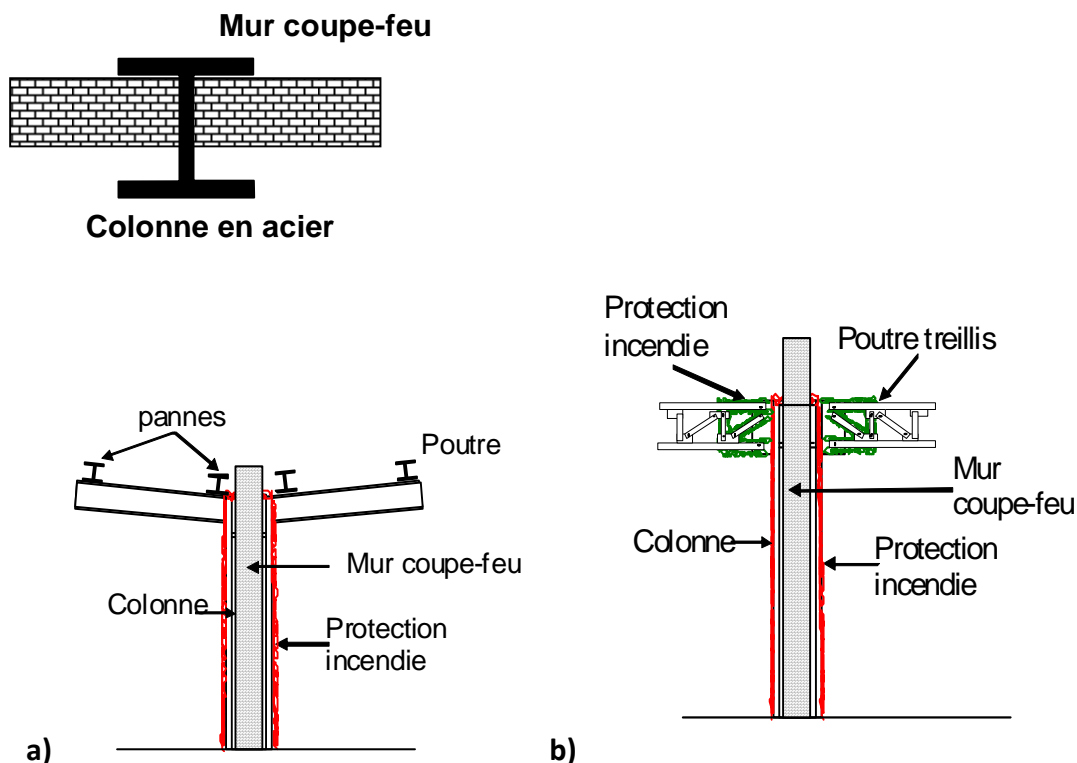
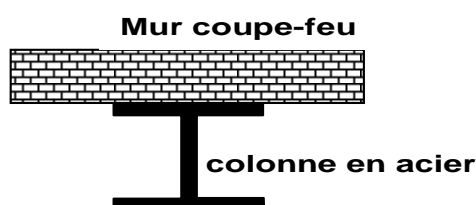


Figure 6-3 : protection incendie requise à proximité du mur coupe-feu placé entre les semelles des colonnes – a) portique et b) poutre-treillis.



En plus de la colonne, les poutres-treillis en acier à proximité du mur coupe-feu doivent également être protégées sur une distance minimum égale à la distance séparant le mur du premier membre vertical du treillis, et ce afin d'éviter un éventuel problème induit par l'effondrement de la poutre-treillis à proximité de la paroi coupe-feu.

### 6.2.2. Paroi coupe-feu fixée à l'une des semelles de la colonne



Si la paroi coupe-feu est construite derrière une des semelles des colonnes, la poutre adjacente à la paroi doit être ignifugée afin d'éviter que sa chute n'endommage la paroi :

- **protection sur une distance minimum de 200 mm au-delà du bord de la paroi pour les portiques en acier ;**
- **protection sur une longueur égale à la distance séparant le mur du premier membre vertical de la poutre pour les poutres-treillis.**

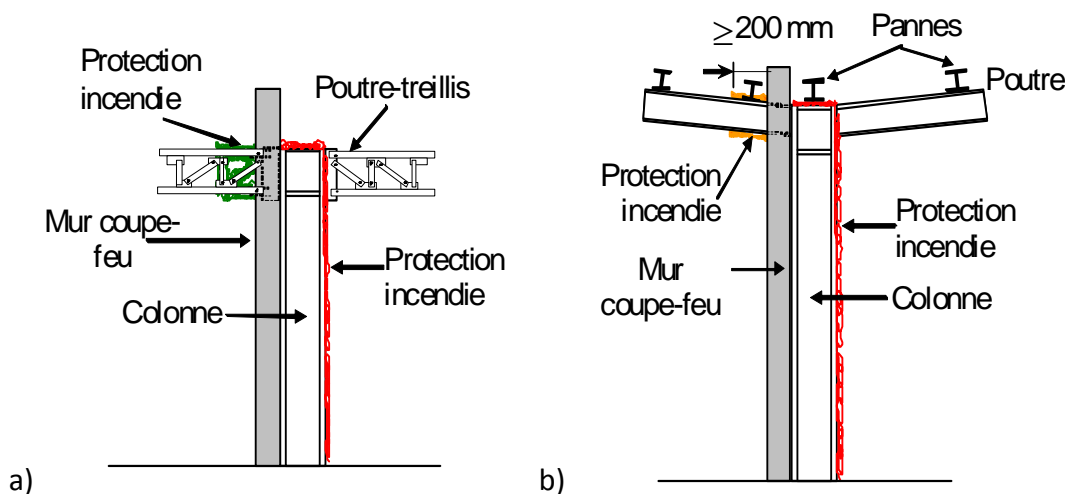


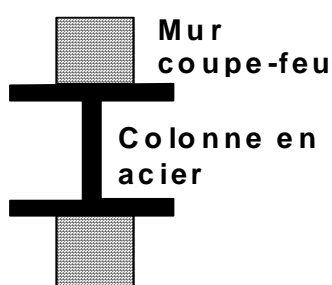
Figure 6-4 : protection incendie requise pour les poutres et colonnes à proximité du mur coupe-feu fixé sur l'une des semelles de la colonne – a) portique et b) poutre-treillis.



### 6.3. Parois coupe-feu parallèles à la charpente en acier

- Les COLONNES encastrées dans un mur ou proches d'un mur doivent toujours être ignifugées ;
- les POUTRES encastrées dans un mur ou proches d'un mur doivent toujours être ignifugées ;
- les PANNES croisent les murs, il est donc nécessaire de protéger les pannes continues contre le feu (sur une distance de 200 mm à partir du mur) ou de concevoir un système de pannes non continues.

#### 6.3.1. Paroi coupe-feu dans le plan de la charpente en acier



Dans ce cas, la poutre et la colonne doivent être ignifugées.

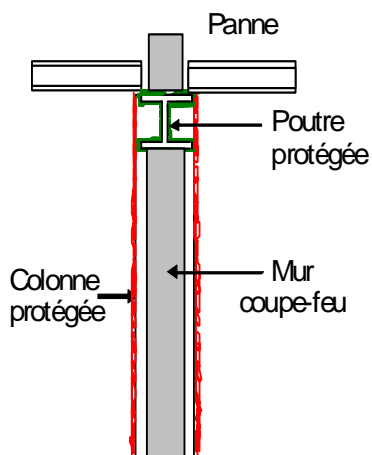
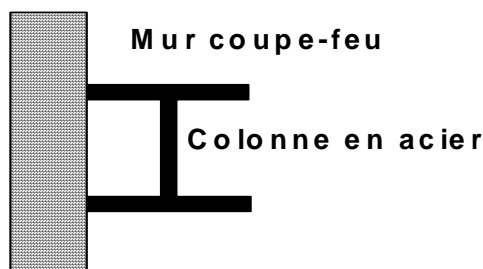


Figure 6-5 : protection incendie de la colonne lorsque le mur coupe-feu est dans le plan de l'ossature.

### 6.3.2. Paroi coupe-feu attachée à la charpente en acier



Les éléments en acier traversant un mur coupe-feu ne doivent pas diminuer les performances de ce mur en cas d'incendie (stabilité, isolation thermique...). Il est donc nécessaire d'envisager des solutions pour éviter que l'effondrement de la structure du toit la plus proche du mur coupe-feu n'entraîne pas la ruine de ce dernier.

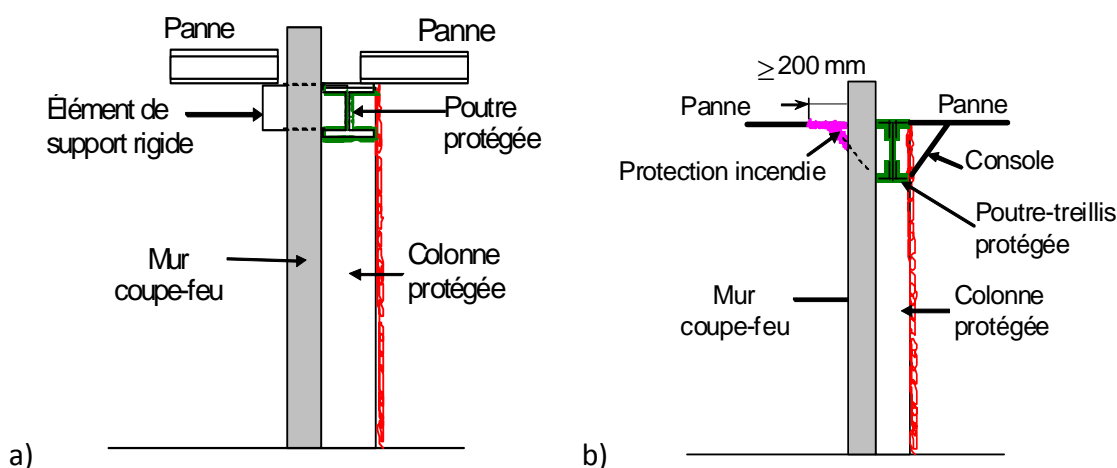


Figure 6-6 : détails de conception pour éléments à proximité du mur coupe-feu.

Dans le cas de portiques, les recommandations sont les suivantes :

- **lorsque la paroi coupe-feu est intégrée dans l'ossature en acier, les éléments rigides en acier fixés aux poutres doivent être placés à travers la paroi pour soutenir les pannes ;**
- **dans le cas de pannes continues, celles-ci doivent être ignifugées de chaque côté du mur sur une distance minimum de 200 mm.**

Dans le cas de poutres-treillis, les recommandations sont les suivantes :

- **protection des pannes et consoles à proximité du mur sur une distance minimum égale à la distance entre le mur et la jonction console/panne lorsque la structure du toit est constituée de pannes ;**
- **protection des poutres situées à côté du mur sur une distance minimum correspondant à la distance entre le mur et les premiers membres verticaux de la poutre lorsque la charpente est constituée de poutres-treillis.**



### 6.3.3. Paroi coupe-feu entre deux charpentes en acier

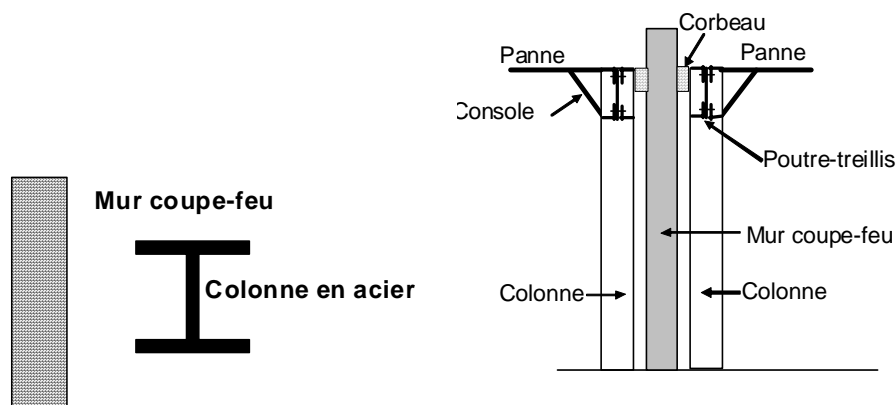


Figure 6-7 : mur coupe-feu entre deux charpentes.

Les poutres-treillis ne permettent pas la construction d'un mur continu dépassant du toit ; une solution consiste à subdiviser le bâtiment industriel en deux structures indépendantes et à construire le mur coupe-feu entre celles-ci.

## 6.4. Recommandations pour systèmes de contreventement

### 6.4.1. Parois coupe-feu perpendiculaires aux charpentes en acier

L'exigence de non-effondrement vers l'extérieur sur l'axe longitudinal (perpendiculaire aux charpentes en acier) peut être satisfaite en utilisant un système de contreventement approprié. Plus spécifiquement, chaque compartiment doit posséder son propre système de contreventement (voir Figure 6-8 : systèmes de contreventement à l'extrémité longitudinale du bâtiment.). Les solutions suivantes doivent donc être adoptées :

- **mise en œuvre d'un contreventement vertical de chaque côté du mur coupe-feu. Ce système de contreventement doit être conçu de manière à supporter une charge latérale égale à 20 % de la surcharge de vent normale (conformément à la combinaison de charges en cas d'incendie) et dimensionné pour une surface verticale « S » limitée à la largeur d'une seule travée ( $S = h \times l$ ) ;**
- **doublage du contreventement des deux côtés des parois coupe-feu, ou protection incendie du système de contreventement décrit ci-dessus.**

Ces systèmes de contreventement doivent cependant être compatibles avec le dimensionnement à température ambiante, de manière à ne pas poser de problèmes (par exemple, dilatation de joint).

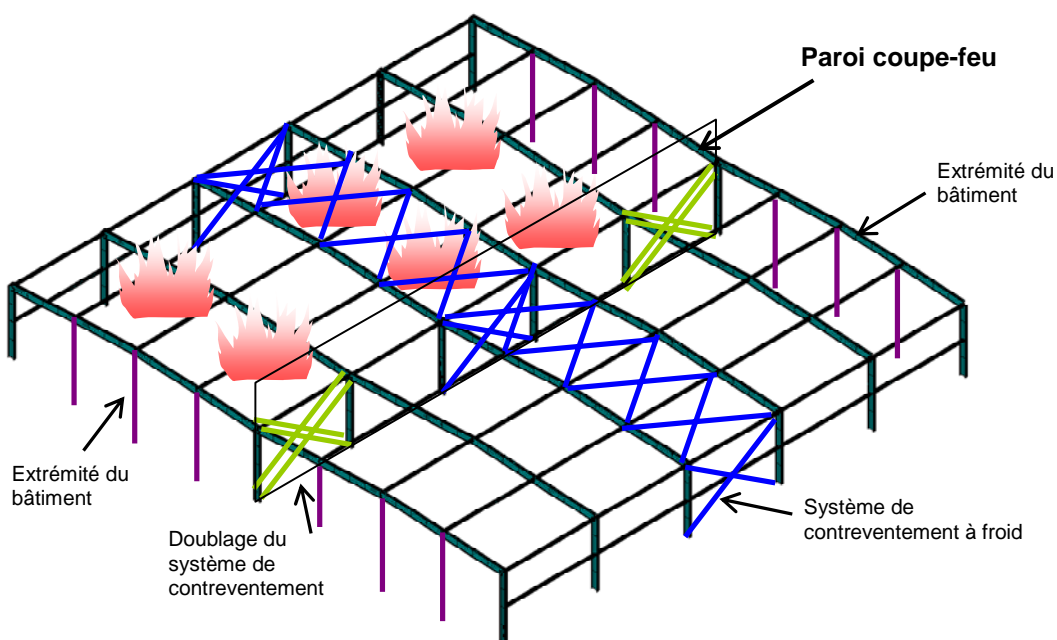


Figure 6-8 : systèmes de contreventement à l'extrémité longitudinale du bâtiment.

#### 6.4.2. Parois coupe-feu parallèles aux charpentes en acier

Les systèmes de contreventement (verticaux entre les colonnes ou horizontaux en toiture) sont généralement situés dans le même compartiment. Lorsque les murs coupe-feu sont parallèles aux structures en acier, il est nécessaire d'installer un système de contreventement supplémentaire (vertical et horizontal en toiture) dans chaque compartiment, pour que l'effondrement de la structure en acier de la cellule chauffée n'entraîne pas l'instabilité de tout le bâtiment (Figure 6-9).

Chaque système de contreventement doit être conçu de manière à pouvoir reprendre une charge horizontale uniforme égale à :

$$F = 1.19 q$$

Équation 6-2

où

$$q = G + 0,2 S \Rightarrow \text{Équation 4-7}$$

Lorsque la paroi coupe-feu est intégrée dans la charpente en acier, des éléments de contreventement doivent être fixés à des éléments rigides en acier mis en œuvre dans le but de soutenir les pannes de chaque côté du mur.

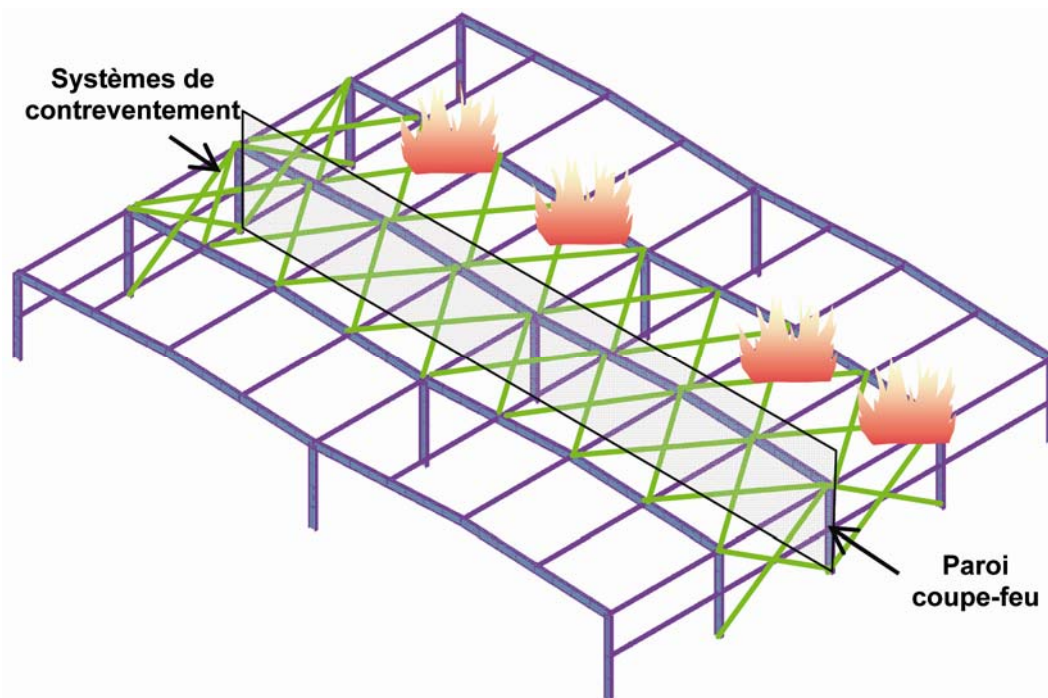


Figure 6-9 : contreventement d'un bâtiment de stockage.

### 6.5. Recommandations complémentaires pour portiques simples en acier

Des études paramétriques [6, 11, 12] réalisées avec le modèle numérique avancé SAFIR [5, 10] ont montré qu'un effondrement vers l'extérieur peut se produire dans certaines conditions dans le cas de bâtiments de stockage réalisés avec des portiques simples en acier (Figure 6-10).

Dans ce cas, le mode d'effondrement vers l'extérieur peut être évité en procurant une résistance ultime à froid aux assemblages entre colonnes et fondations ainsi qu'à la capacité de résistance des fondations. La résistance doit être telle que les charges verticales correspondantes à l'incendie peuvent être reprises avec un moment fléchissant supplémentaire égal à 20 % du moment plastique ultime de la colonne à froid.

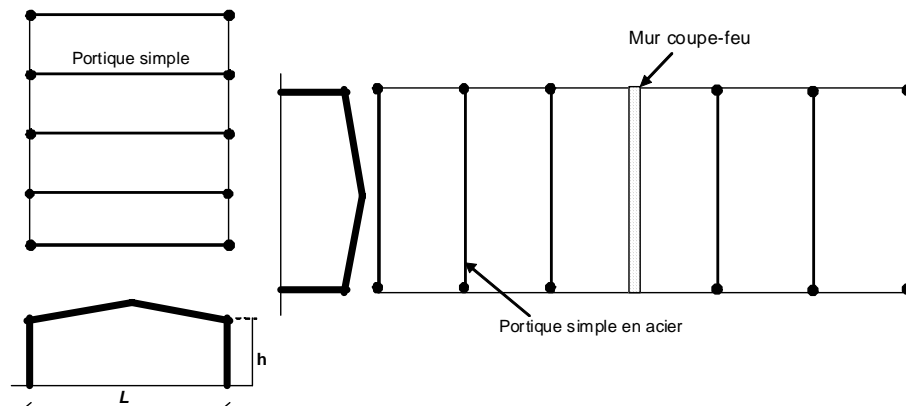


Figure 6-10 : bâtiment industriel avec portiques simples en acier.



## 7. Références

- [1] LENAS, « Logiciel de simulation du comportement mécanique des structures métalliques soumises à un incendie », in *Construction Métallique*, n° 3, 1999.
- [2] N. AYME et D. JOYEUX, « Méthode de vérification du comportement au feu d'entrepôts en acier », in *Construction Métallique*, n° 1, 2005.
- [3] N. AYME et D. JOYEUX, Guide d'application d'une méthode de vérification du comportement au feu de la structure d'entrepôt suivant l'arrêté du 5 août 2002, CTICM, INSI - 04/277 - NA/PB, 2004.
- [4] XP ENV 1993-1-2 - Eurocode 3 : « Calcul des structures en acier » et Document d'Application Nationale – Partie 1-2 : « Règles générales – calcul du comportement au feu ».
- [5] ANSYS, *ANSYS User's Manual for Revision 8.0 – Volume IV – Theory*, Swanson Analysis SYSTEM, INC., Houston USA, 1992.
- [6] O. VASSART, L-G. CAJOT, B. ZHAO, J. DE LA QUINTANA, J. MARTINEZ DE ARAGON, A. GRIFFIN, Fire Safety of Industrial Halls and Low-rise Buildings : Realistic Fire Design, Active Safety Measures, Post-local failure simulation and Performance Based Requirements, ECSC Research 7210-PA/PB/PC/PD/378.
- [7] O'MEAGHER, AJ, BENNETTS, ID, DAYAWANSA, PH and THOMAS, IR, « Design of Single Storey Industrial Buildings for Fire Resistance », in *Journal of the Australian institute of Steel Construction*, volume 26, n° 2, mai 1992.
- [8] O'MEAGHER, AJ, BENNETTS, ID, DAYAWANSA, PH and THOMAS, IR, *Fire protection of steel framing*, AUBRCC Research project AP25 BHP Research & New Technology, BHP RML/CM7/90/001, décembre 1990.
- [9] NFPA 221, Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls, 2000.
- [10] Logiciel SAFIR, *A Computer Program for Analysis of Structures Submitted to the Fire*, Université de Liège, Département Structures du Génie Civil, Service Ponts et Charpentes, 2000.
- [11] K. PILLANT, J-P MUZEAU, O. VASSART, *Étude par éléments finis de la sécurité au feu des halls de stockage*, CUST, Département Génie Civil, 2004
- [12] P. HONORE, P. SPEHL, E. SCHMIT, O. VASSART, Quantification de l'effondrement en cas d'incendie, d'une structure métallique sur les compartiments au feu voisins, pour un bâtiment d'un seul niveau, Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées, 2005.





