Projet réalisé avec le financement partiel des
Fonds de Recherche du Charbon et de l'Acier
RFS2-CR-2007-00032

Sécurité incendie des entrepôts industriels

Guide de conception

Table de matière

Guide de conception 1
1. Introduction 3
2. Comportement au feu des structures de bâtiment de stockage 4
3. Domaine d'application 6
3.1. Ce que le guide ne couvre pas 6
3.2. Ce que le guide permet de faire 6
3.3. Structure et compartimentage des bâtiments de stockage 7
3.4. Murs coupe feu et éléments de façade 8
4. Méthode de conception 9
4.1. Moyens de vérification 9
4.2. Différents cas possibles 10
4.2.1. Simple nef 10
4.2.2. Multi-nef – mur CF perpendiculaire au sens porteur de la structure – structures en portique et avec poutres treillis 11
4.2.3. Multi-nef – mur CF parallèle au sens porteur de la structure – structure en portique et avec poutres treillis 16
4.3. Comment utiliser ces valeurs 16
5. Logiciel "LUCA" 17
5.1. Introduction 17
5.2. Description, entrée/sortie 17
5.3. Note de calcul 17
5.4. Revue des différentes fenêtres de l'application 18
6. Dispositions constructives 22
6.1. Mur coupe-feu 22
6.1.1. Fixation de la façade et des éléments de séparation à la structure métallique 22
6.1.2. Structure métallique avoisinant les éléments de séparation 23
6.1.3. Système de toiture au dessus des éléments de séparation 23
6.2. Mur CF perpendiculaire au sens porteur de la structure 24
6.2.1. Mur CF inséré entre les semelles d'un poteau 24
6.2.2. Mur CF accolé à une semelle du poteau 25
6.3. Mur CF parallèle au sens porteur de la structure 25
6.3.1. Mur CF dans le plan de la structure métallique 26
6.3.2. Mur CF attaché à la structure métallique 26
6.3.3. Mur CF entre deux portiques 27

6.4. Recommandations pour le contreventement.....28
6.4.1. Mur coupe feu perpendiculaire à la structure métallique 28
6.4.2. Mur coupe feu parallèle au sens porteur de la structure.....29
6.5. Dispositions additionnelle pour les portiques à simple nef isolée 29
7. Références bibliographiques.....31

1. Introduction

Ce guide de conception a été réalisé pour appuyer et conforter l'industrie de l'acier face aux nouvelles réglementations vis à vis de la sécurité incendie introduite récemment dans différent pays Européens.

Suite à plusieurs travaux de recherche financés par le projet RFCS [6], la méthodologie et les recommandations pour la conception des bâtiments de stockage ont été développées. Les résultats sont obtenus avec le concours d'études numériques et paramétriques sur des ossatures en portique ou avec poutres treillis en différentes hauteurs de poteaux et portée de travées. Un feu généralisé suivant la courbe nominale ISO 834 a été utilisée dans les simulations numériques pour les cellules en feu.

L'utilisation de ce guide en dehors du cadre d'analyse, n'est pas recommandée à moins que pour des pré-dimensionnements qui doivent faire l'objet d'une validation a posteriori.

Les dimensions utilisées dans le cadre de ce projet sont représentatives des bâtiments de stockage :

- ⇒ Portées pour une simple travée : 15m, 20m and 30m
- ⇒ Portées pour des travées multiples : 20m, 30m and 40m
- ⇒ Hauteur – simple travée : 5m, 7.5m and 12.5m
- ⇒ Hauteur – travées multiples : 7.5m, 12.5m and 20m
- ⇒ Pente : de 0 à 10%
- ⇒ Nombre de travées : 1, 3 and 5
- ⇒ Poutre treillis : cornière à ailes égales de 50x50x5 à 120x120x12

Le premier objectif de ce travail de recherche est de prouver qu'en absence de protection passive, la sécurité incendie d'un bâtiment de stockage en structure métallique à simple rez-de-chaussée est autosuffisante. Par le biais d'évaluation de risque ainsi que la simulation structurale, il a été montré que la sécurité des occupants et des pompiers est garantie par les critères suivants :

- **Critère de "non effondrement vers l'extérieur". En cas d'un feu dans l'un des compartiments du bâtiment, la structure ne s'effondre pas vers l'extérieur du bâtiment.**
- **Critère de "non ruine en chaine". En cas d'un incendie se produisant dans l'un des compartiments du bâtiment, une ruine localisée du compartiment n'induit pas la ruine du compartiment juxtaposant.**

L'objectif de ce guide de conception est de munir les ingénieurs d'études avec des règles de conception ainsi que des méthodes de calcul simplifiées afin d'assurer que le comportement structural (structure auto-porteuse, éléments de façade, toiture et murs coupe-feu) d'un bâtiment de stockage remplit les critères précédents et satisfait ainsi les objectifs de la sécurité des personnes (occupants et pompiers).

2. Comportement au feu des structures de bâtiment de stockage

Le comportement d'une ossature multi-nefs en cas d'incendie peut être scindé en deux phases successives se traduisant par un comportement structural différent. [1]

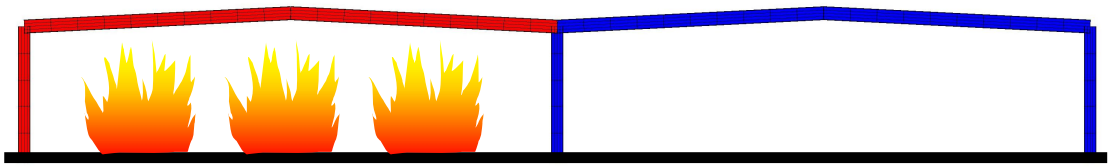


Figure 2.1 Condition de sollicitation thermique

Première phase correspondant à une dilatation des composantes de l'ossature sollicitées par le feu. Durant cette phase, on observe :

- **Une augmentation progressive du déplacement horizontal (au niveau des têtes des poteaux) vers l'extérieur du compartiment en feu ;**

- **Une augmentation progressive des efforts internes (une force de compression additionnelle) au niveau des poutres soumises au feu. Ces forces de compression sont dues à l'empêchement de la dilatation thermique induit par les parties encore froides de l'ossature ;**

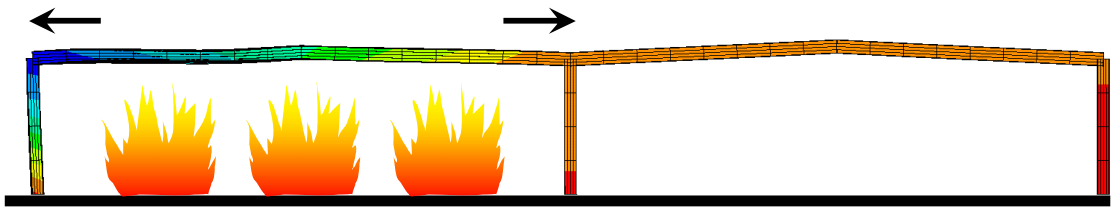


Figure 2.2 Déformé de l'ossature durant la phase de dilatation

[1] Remarque : Une hypothèse primordiale pour le comportement structural présenté est que les colonnes internes au niveau du mur CF restent stables en situation d'incendie.

La seconde phase correspond à l'effondrement de la partie échauffée de l'ossature. Durant cette phase, les remarques suivantes sont soulevées :

- **Les poutres passent progressivement d'un état de flexion-compression composé à un état de traction simple ;**
- **Depuis le début de cette phase, les déplacements aux extrémités du compartiment changent de direction ; les têtes des poteaux externes reprennent leurs positions initiales pour se déplacer ensuite vers le compartiment en feu ;**

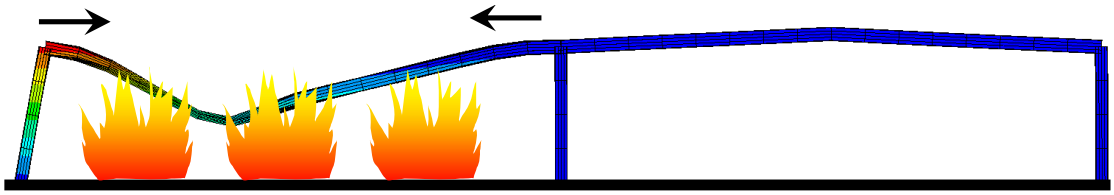


Figure 2.3 Déformée de l'ossature durant la phase de ruine

- **La poutre soumise au feu présente un comportement structural comparable à une chainette ;**
- **Le déplacement horizontal en tête des poteaux du compartiment non soumis au feu atteint sa valeur maximale pour décroitre légèrement à cause de l'effondrement de la partie échauffée ;**
- **Si la raideur de la partie froide est suffisamment importante durant la phase finale, la structure échauffée s'effondre vers l'intérieur du compartiment en feu et la partie froide reste stable.**

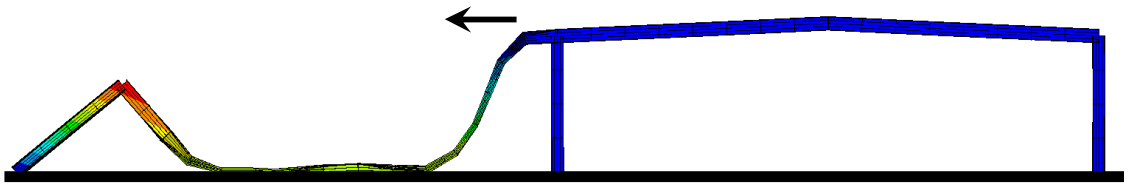


Figure 2.4 Déformée de l'ossature à la fin de la phase de ruine

3. Domaine d'application

3.1. Ce que le guide ne couvre pas

Ce guide de conception :

- **N'explique pas comment calculer la résistance au feu des structures métallique ;**
- **Ne définie pas la résistance au feu requise par la réglementation ;**
- **N'explique pas comment calculer la stabilité de la partie froide de la structure métallique ;**
- **Ne montre pas comment dimensionner les façades ou les murs CF.**

3.2. Ce que le guide permet de faire

Ce guide de conception illustre les modes de ruine possibles des bâtiments de stockage tout en proposant des méthodes de calcul simples pour les éviter. Ces modes possibles sont :

- **Effondrement de la structure vers l'extérieur;**
- **Effondrement de la structure et du mur CF vers l'extérieur;**

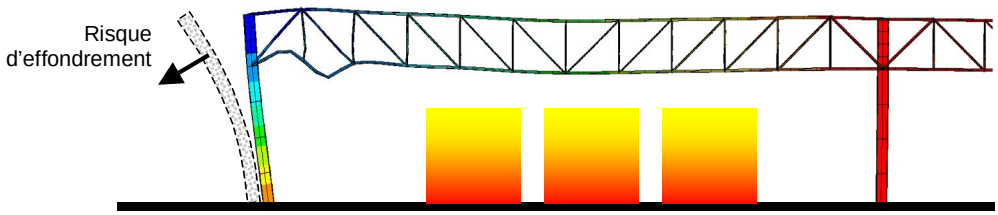


Figure 3-1 Risque d'effondrement de la façade vers l'extérieur durant la phase de dilatation

- **Effondrement des structures froides adjacentes – ruine en chaine.**

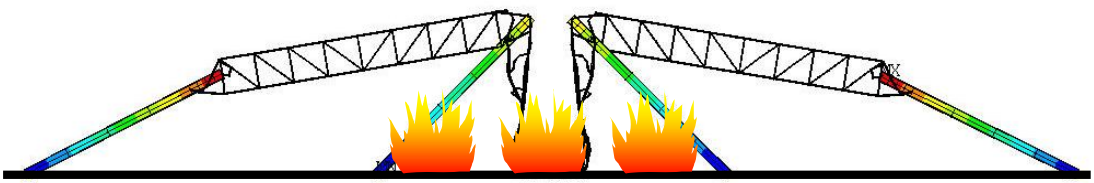


Figure 3-2 Risque de la ruine en chaine de la structure porteuse

3.3. Structure et compartimentage des bâtiments de stockage

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

- **Bâtiments de stockage en structure métallique que ce soit en portique métallique avec des profilés H ou I laminés à chaud (ou PRS équivalent) ou en structure métallique avec des poutres treillis et poteaux en profilés I ou H laminés à chaud ou PRS équivalent;**
- **Les bâtiments de stockage subdivisés en une ou plusieurs cellules séparées l'une par rapport à l'autre/aux autres par un/des mur/s CF. Ces murs peuvent être perpendiculaires ou parallèles au sens porteur de la structure.**

La Figure 3-3 ainsi que la Figure 3-4 montrent des exemples de structures métalliques ainsi que les localisations possibles du feu.

L'incendie est supposé se propage d'une manière homogène sur tout le compartiment en feu.

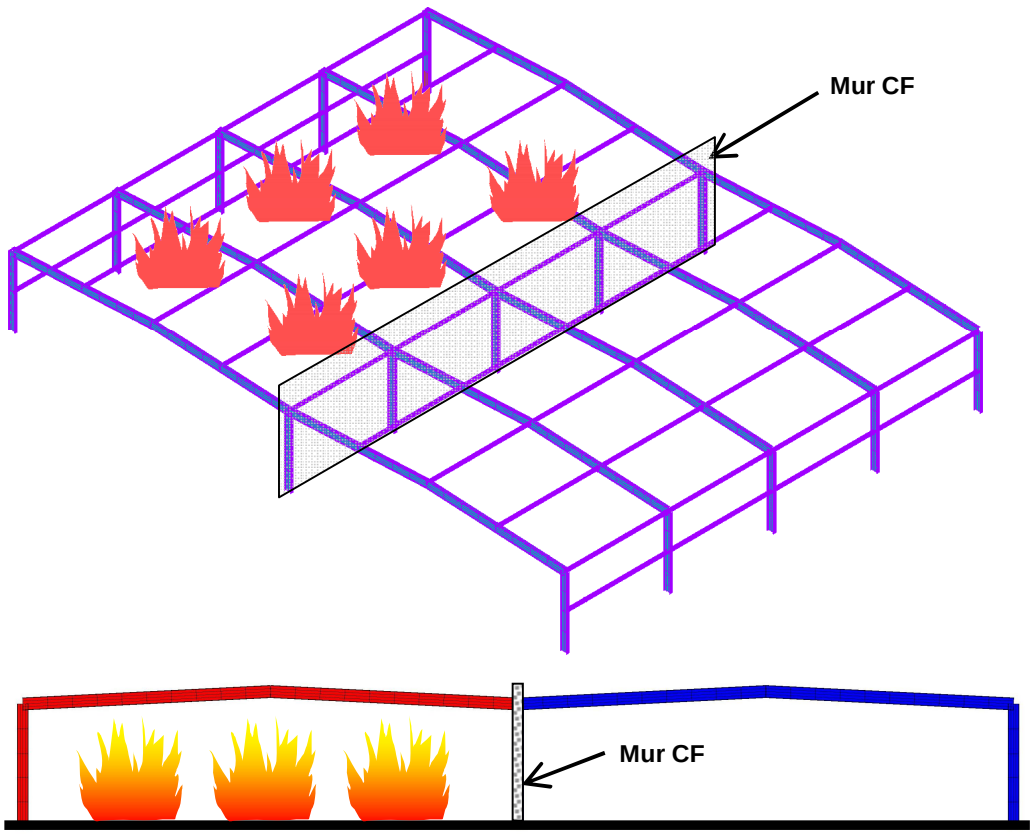


Figure 3-3 Mur CF perpendiculaire au sens porteur de la structure

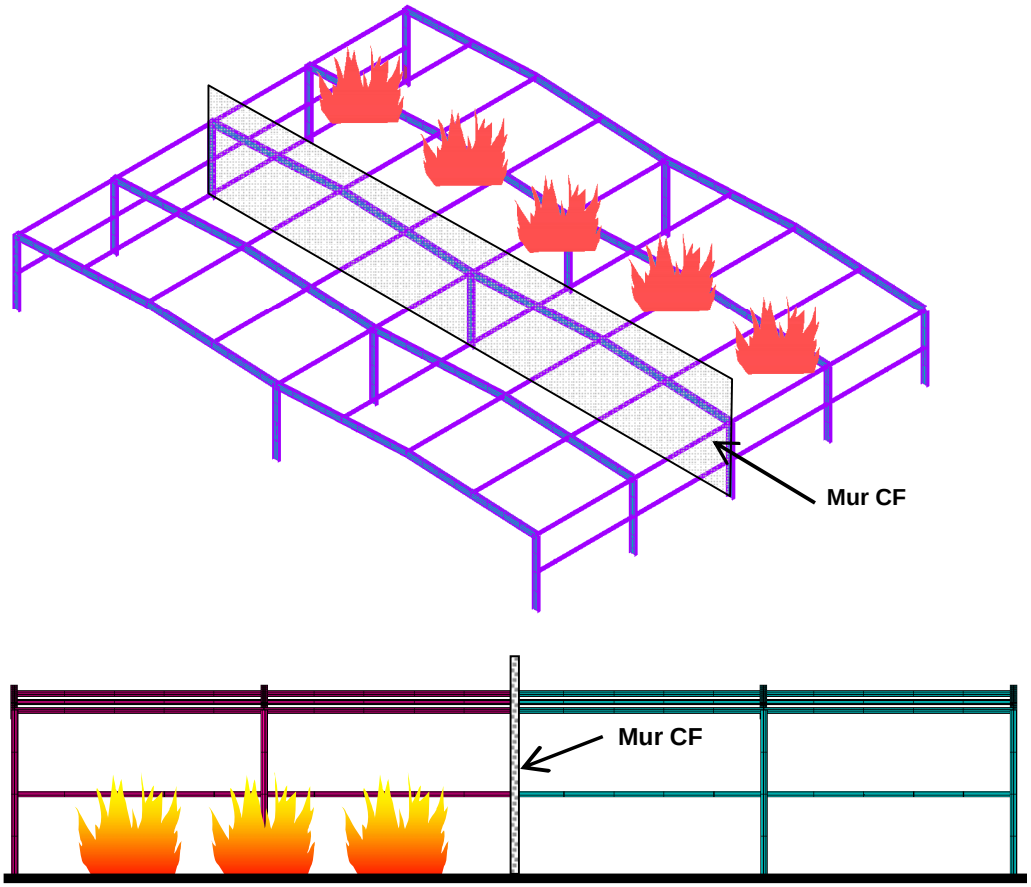


Figure 3-4 Mur CF parallèle au sens porteur de la structure

3.4. Murs coupe feu et éléments de façade

Les recommandations proposées à la Section 5 du présent document peuvent être appliquées à tous les types de murs CF tel que les murs construits en béton léger, en béton armé, en parpaing, en bardage métallique protégé contre l'incendie, en plaques de plâtre, en briques ou avec tout autre type de matériau.

Cependant, les murs coupe-feu doivent être suffisamment flexibles ou fixés d'une manière appropriée pour rester compatible avec les déplacements horizontaux de la structure métallique sous sollicitation de feu.

L'utilisation des éléments de façade est sans restriction pour les bâtiments de stockage. Néanmoins, quel que soit le type de façade, son adéquation structurale, son intégrité et sa compatibilité avec le déplacement de la structure métallique doivent être assurés. De cette manière, un effondrement de ces éléments, s'il a lieu, serait vers l'intérieur du bâtiment.

L'utilisation de façade auto-stable n'est pas recommandée, car, sous l'effet de la courbure engendrée par une dilatation thermique différentielle, le mur fléchie vers l'extérieur du bâtiment. Ce type de façade ne peut être utilisé que si leur comportement structural est évalué par une méthode de calcul avancée prenant en compte les

effets du second ordre ou si leur structure porteuse est localisée à l'extérieur du compartiment en feu et donc suffisamment protégée pour rester stable.

En plus, durant la phase de dilatation, la structure se déplace vers l'extérieur même si elle ne s'effondre pas à ce premier stade. Par conséquent, les éléments de façade doivent être capables de résister à ce déplacement. Ensuite, la structure se déplace dans le sens opposée et s'effondre vers l'intérieur du compartiment (voir Section 2). Les éléments de façade doivent être attachés à la structure métallique de telle sorte qu'ils s'effondrent vers l'intérieur avec la structure métallique.

4. Méthode de conception

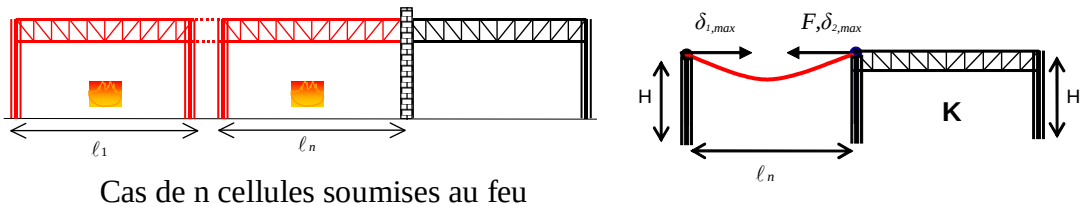
4.1. Moyens de vérification

➢ Effondrement vers l'extérieur :

Evaluation de la possibilité de l'effondrement de la structure vers l'extérieur du compartiment en feu.

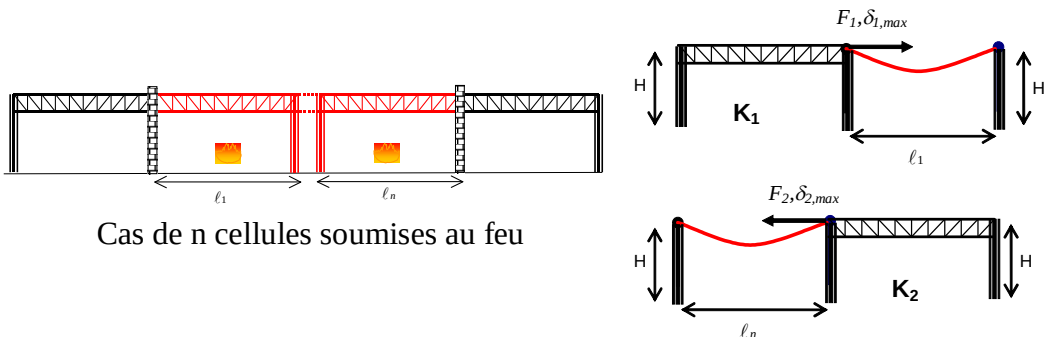
➢ Force de traction :

Calcul de la force de traction (engendrée par le feu d'un compartiment adjacent) au niveau des têtes de poteaux de la partie froide de la structure. Ce calcul permet la vérification de la stabilité de la partie froide de la structure.



Cas de n cellules soumises au feu

a) Compartiment en feu à l'extrémité du bâtiment de stockage



Cas de n cellules soumises au feu

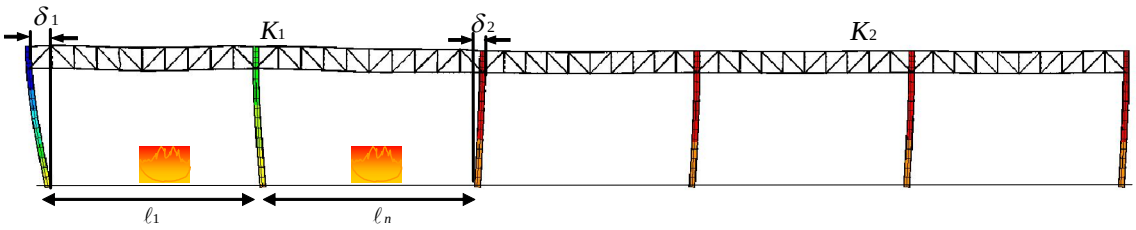
b) Compartiment en feu au milieu du bâtiment de stockage

Figure 4-1Déplacement maximum et forces de traction transmises aux parties froides de la structure

➢ Déplacement horizontal :

Calcul des déplacements horizontaux maximaux qui apparaissent au niveau des têtes des poteaux sous l'effet de la dilatation thermique des poutres dans le compartiment

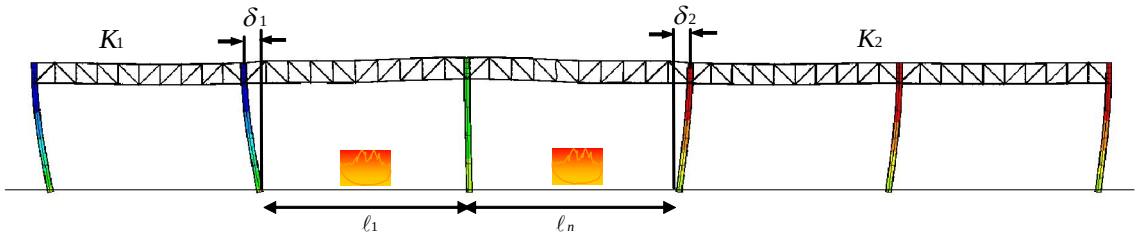
soumis au feu. Le déplacement maximal latéral est utilisé pour vérifier la stabilité des murs CF et des façades.



K_2 est la rigidité latérale de la partie froide de la structure métallique.

K_1 est la rigidité latérale de la structure métallique du compartiment soumis au feu

a) Feu dans un compartiment à l'extrémité du bâtiment de stockage



K_1 et K_2 sont les rigidités équivalentes des parties froides de la structure métallique

b) Feu dans le compartiment au milieu du bâtiment de stockage

Figure 4-2 Déplacement horizontal de la structure durant la phase de dilatation

4.2. Différents cas possibles

4.2.1. Simple nef

- **Effondrement vers l'extérieur :**

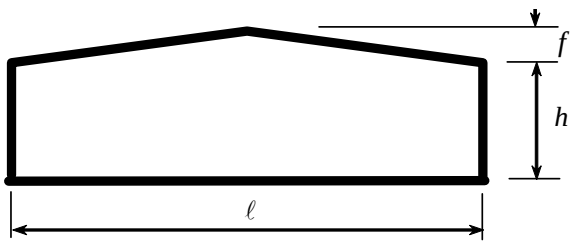
L'effondrement vers l'extérieur du compartiment est évité si l'Equation 4-1 est vérifiée :

$$h / l < 0.4 \qquad \text{Equation 4-1}$$

avec

h – est la hauteur du poteau

l – est la portée de la poutre



- **Force de traction :**

Non applicable

- **Déplacement latéral :**

$$\delta_i = 0.5\% \ l \qquad \text{Equation 4-2}$$

4.2.2. Multi-nef – mur CF perpendiculaire au sens porteur de la structure – structures en portique et avec poutres treillis

➢ Effondrement vers l'extérieur :

Ne se produit jamais [6] pour des structures jusqu'à 20 m de hauteur

➢ Force de traction :

Etape 1 – Coefficient en fonction de la pente de la toiture du bâtiment $\boldsymbol{c_p}$

⇒ Structure en portique

$$c_p = \begin{cases} 1.19 & \text{une pente de } 0\% \\ 1.16 & \text{une pente de } 5\% \\ 1.10 & \text{une pente de } 10\% \end{cases}$$ Equation 4-3

⇒ Structure avec poutres treillis

$$c_p = 1.45$$ Equation 4-4

Etape 2 – Coefficient fonction du nombre *n* des travées échauffée dans le compartiment soumis au feu $\boldsymbol{n_{eff}}$

⇒ Structure en portique

$$\Rightarrow \quad n_{eff} = \begin{cases} \left.\begin{matrix} 0.5 & \text{à l'extrémité de la structure} \\ 1.0 & \text{au milieu de la structure} \end{matrix}\right\} & \text{pour } n = 1 \text{ (une seule travée soumise au feu)} \\ \left.\begin{matrix} 1.0 & \text{à l'extrémité de la structure} \\ 2.0 & \text{au milieu de la structure} \end{matrix}\right\} & \text{pour } n \geq 2 \text{ (plusieurs travées soumises au feu)} \end{cases}$$

Equation 4-5

⇒ Structure avec poutres treillis

$$\Rightarrow \quad n_{eff} = \begin{cases} \left.\begin{matrix} 0.6 & \text{à l'extrémité de la structure} \\ 1.0 & \text{au milieu de la structure} \end{matrix}\right\} & \text{pour } n = 1 \text{ (une seule travée soumise au feu)} \\ \left.\begin{matrix} 1.0 & \text{à l'extrémité de la structure} \\ 1.0 & \text{au milieu de la structure} \end{matrix}\right\} & \text{pour } n \geq 2 \text{ (plusieurs travées soumises au feu)} \end{cases}$$

Equation 4-6

Exemple

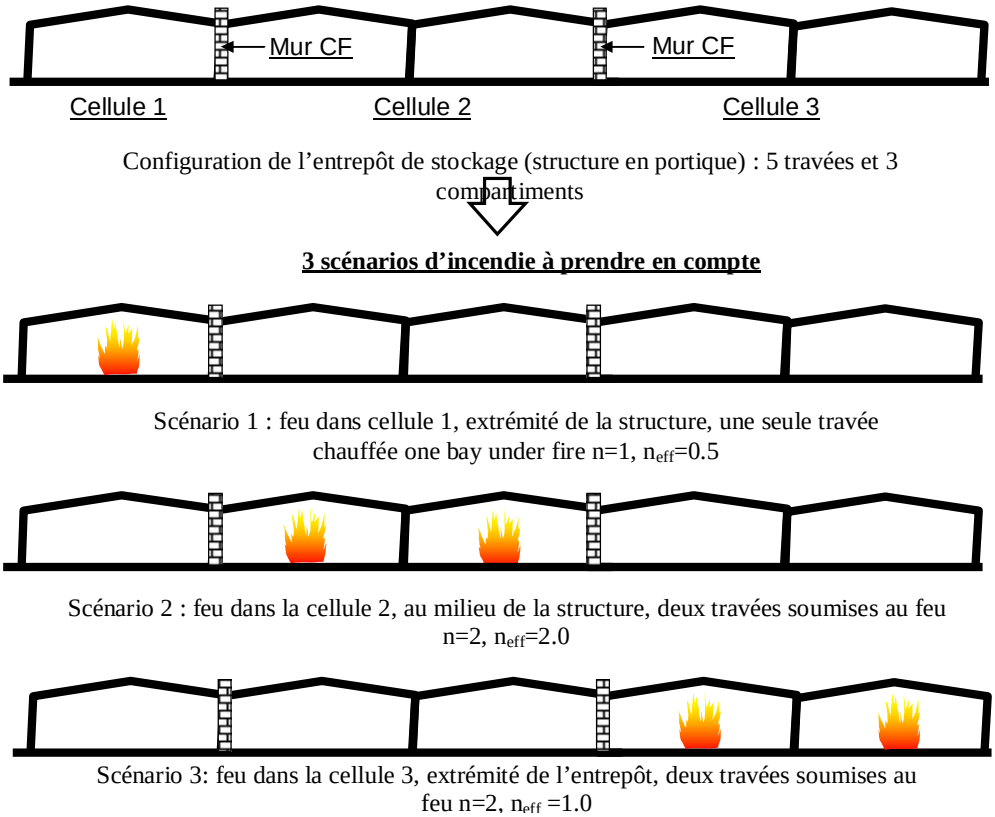


Figure 4-3 Différents scénarios de feu possible pour bâtiment de stockage avec 3 compartiments

Etape 3 – Chargement vertical [2] $\boldsymbol{q}$

$$q = G + 0.2\,S \qquad \text{Equation 4-7}$$

où

G – est le poids propre de la toiture

S – est le chargement de neige caractéristique

Etape 4 – Force de traction $\boldsymbol{F}$ en têtes des poteaux (Figure 4-1)

[2] Note : La charge à appliquer dans les conditions de feu "q" est calculée, le cas échéant, suivant la combinaison de charge relative aux annexes nationaux au lieu d'utiliser l'Equation 4-7.

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

où

l – est la portée de la cellule échauffée et adjacent connecté au Poteau.

➢ Déplacement latéral :

Etape 1 – Facteur de réduction fonction de la pente de la toiture c_{th}

⇒ Structure en portique

$$c_{th} = \begin{cases} 0.01 & pour\ une\ pente\ de\ \ 0\% \\ 0.011 & pour\ une\ pente\ de\ \ 5\% \\ 0.015 & pour\ une\ pente\ de\ \ 10\% \end{cases}$$ Equation 4-9

⇒ Structure avec poutre treillis

$$c_{th} = 0.009$$ Equation 4-10

Etape 2 – Rigidité latérale équivalente K_i de la partie froide de structure métallique

⇒ Si le compartiment est au milieu du bâtiment comme illustré dans la Figure 4-3

K_1 et K_2 pourraient être calculé par les méthodes classiques de calcul élastique.

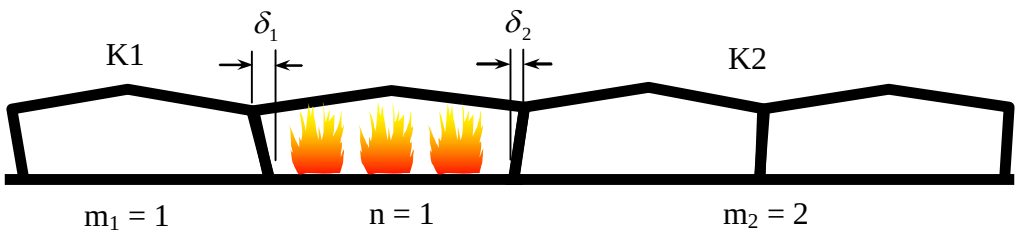


Figure 4-4 Feu localisé dans une cellule au milieu du bâtiment de stockage

Notice :

Pour les structures métalliques classiques (portée constante, même classe de profilés dans les différentes travées), la rigidité latérale équivalente K_i peut être calculée d'une manière approximative en fonction du nombre de travées m_i suivant les relations suivantes :

Pour $m_i = 1$:

$$K_i = k \qquad \text{Equation 4-11}$$

Pour $m_i \geq 2$ *:*

$$K_i = c\,k \qquad \text{Equation 4-12}$$

avec

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

$$c = 1 + \sum_{i=2}^{m} \frac{i}{2}\,\frac{2\alpha+1}{1+2i\alpha} \qquad \text{Equation 4-13}$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_c}\,\frac{h+f}{l}\,(1-\frac{f}{0.6h})$$

où (comme indiqué à la Figure 4-4) :

h – est la hauteur des poutres

f – est le faitage

l – est la portée d'une travée

I_b – est le moment d'inertie de la poutre

I_c – est le moment d'inertie du poteau

E – est le module d'élasticité de l'acier en température ambiante

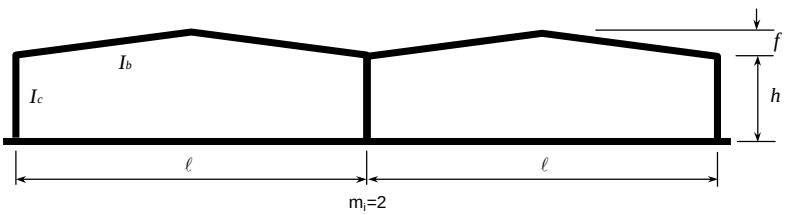


Figure 4-5 Différents paramètres de la partie non soumise au feu

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

K_2 doit être calculé comme si le feu est localisé au compartiment du milieu

K_1, qui est définie comme la rigidité latérale de la structure de la partie échauffée de la structure et doit être calculée comme suit :

$$K_1 = \begin{cases} \left.\begin{array}{ll} 0.065\,k & pour\ n = 1 \\ 0.13\,k & pour\ n = 2 \\ 0.13\,c\,k & pour\ n > 2 \end{array}\right\} pour\ structure\ en\ portique \\ \\ \left.\begin{array}{ll} 0.2\,K_2 & pour\ n = 1 \\ 0.3\,K_2 & pour\ n \geq 2 \end{array}\right\} pour\ \text{structure en treillis} \end{cases} \qquad \text{Equation 4-14}$$

où k et c sont déterminés à partir de l'Equation 4-13 avec $m = n - 1$, ici n est le nombre des travées soumises au feu comme indiqué dans la Figure 4-5.

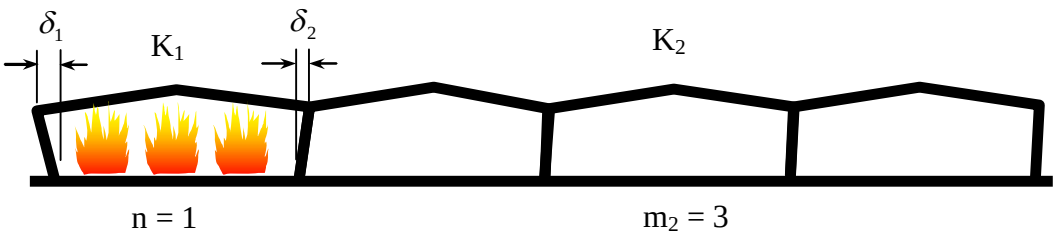


Figure 4-6 Feu localisé à l'extrémité du bâtiment de stockage

Etape 3 – Déplacements latéraux δ_i durant la phase de dilatation (Figure 4-2, 4-6)

$$\delta_i = \begin{cases} \dfrac{K_t}{K_i} c_{th} \sum_{i=0}^{n} l_i & \text{pour la structure en treillis} \\ \dfrac{K_t}{K_i} c_{th} n l & \text{à l'extrémité de la structure en portique} \\ \dfrac{c_p q}{K_i} n_{eff}\, l & \text{au milieu de la structure en portique} \end{cases} \qquad \text{Equation 4-15}$$

où

n - est le nombre des travées soumises au feu

$K_t = \dfrac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$, avec K_1, K_2 les rigidités équivalentes pour le déplacement latéral de la structure métallique (Figure 4-6)

Etape 4 – Déplacement maximum $\delta_{max,i}$ induit par la force de traction en tête de poteaux (Figure 4-1)

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

où

F - est la force de traction calculée suivant l'Equation 4-17

4.2.3. Multi-nef – mur CF parallèle au sens porteur de la structure – structure en portique et avec poutres treillis

Les risques d'effondrement de la structure vers l'extérieur et de la ruine en chaine (entre les différents compartiments) de la structure peuvent être évités en suivant les recommandations données au paragraphe 6.2.

4.3. Comment utiliser ces valeurs

La force de traction F calculée en tête du poteau de la partie froide de la structure (Equation 4-8) doit être utilisée comme une charge horizontale additionnelle pour la vérification de la stabilité de la partie restante de la structure après le feu.

La vérification de la stabilité de la structure doit être faite à température ambiante. Par contre, pour la situation d'incendie, elle doit être faite selon les annexes nationales des Eurocode (combinaison et coefficients adéquats pour les charges).

Le déplacement latéral maximum calculé en tête de poteau de la structure froide restante après la ruine doit être utilisé pour vérifier la stabilité du mur CF et des éléments de façade. Les méthodes de cette vérification dépendent du type du mur CF, des connections à la structure etc, et donc ne fait pas partie de ce guide de conception.

5. Logiciel “LUCA”

5.1. Introduction

L’intérêt du développement du logiciel LUCA est de faciliter la tache des différents bureaux d’études lors de l’application des méthodes de calcul présentes dans ce guide de conception.

Avec le concours de cet outil, simple d’utilisation, la vérification totale du comportement au feu d’un bâtiment à simple rez-de-chaussée est rendu très facile.

5.2. Description, entrée/sortie

Le logiciel est fourni en trois langues (espagnol, français et anglais). Mais la totalité du Programme **FS**$^{+}$ a été faite de manière à donner la possibilité aux utilisateurs de faire facilement la traduction à n’importe quelle autre langue. Moyennant la traduction d’une série de mots et d’expressions, il est possible de travailler avec une autre langue autre que ceux fournie avec le programme.

La fenêtre de démarrage est configurée pour proposer le choix de la langue (anglais, espagnol et français). Une fois la langue est sélectionnée à partir du menu déroulant, tous les commentaires sont dans cette langue et une nouvelle fenêtre apparait.

Cette nouvelle fenêtre contient le domaine d’application ainsi qu’une description synthétique de la façon d’utiliser les résultats donnés par le logiciel.

Dans la troisième fenêtre, l’utilisateur doit sélectionner entre différents types de structures (portique simple, portique avec profiles en I ou H laminés à chaud et portique avec poutres treillis et poteaux laminés à chaud).

Une fois ce choix fait, une autre fenêtre donne le listing des données nécessaires pour le calcul et qui sont à spécifier par l’utilisateur. Par exemple, l’utilisateur donne le type de profilé des poutres et poteaux, la portée et la hauteur des portiques, le nombre de travées total et le nombre de celles soumises au feu, la position du compartiment en feu, la disposition des murs coupe feu (parallèle ou perpendiculaire au sens porteur des portiques), la charge totale sur la toiture (en situation d’incendie) , etc.

Une fois ces informations données, le bouton “Next” apparait et permet le passage à une autre fenêtre qui donne les résultants de calcul (déplacement durant la phase de dilatation, force de traction en tête des poteaux etc.)

Tous ces résultats sont illustrés par une représentation schématique pour une vérification ultime des résultats.

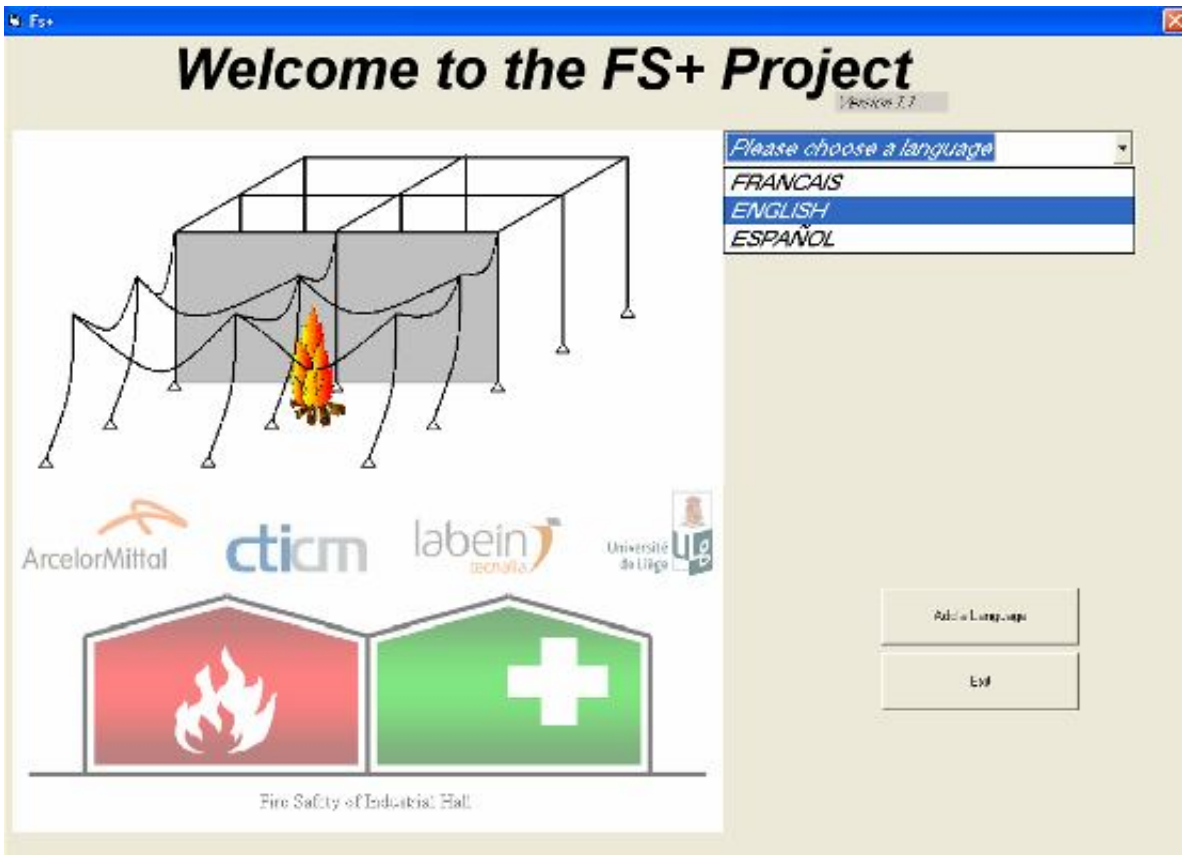
5.3. Note de calcul

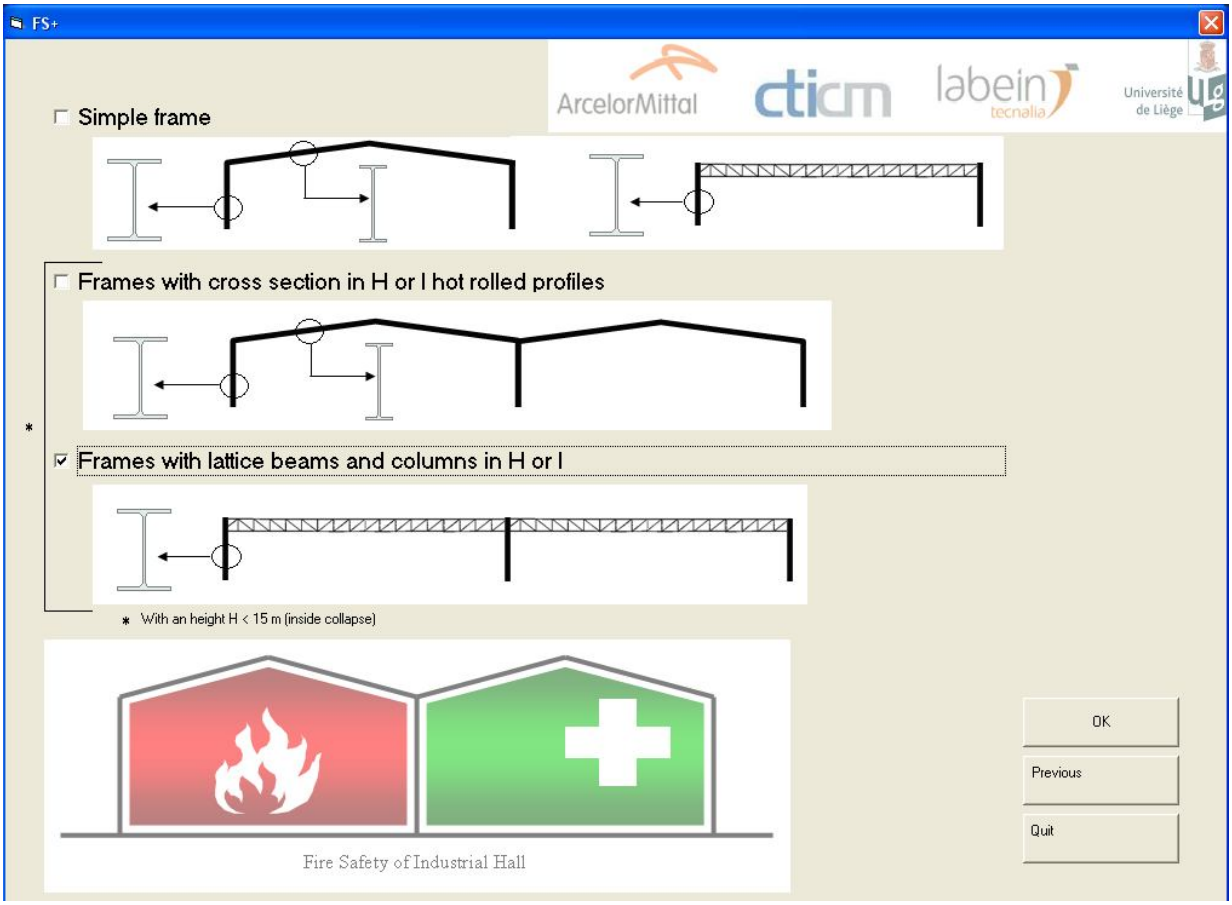
Le bouton ‘Print’ permet de générer un rapport de calcul en format pdf. L’application identifiera automatiquement le software permettant de générer les documents pdf

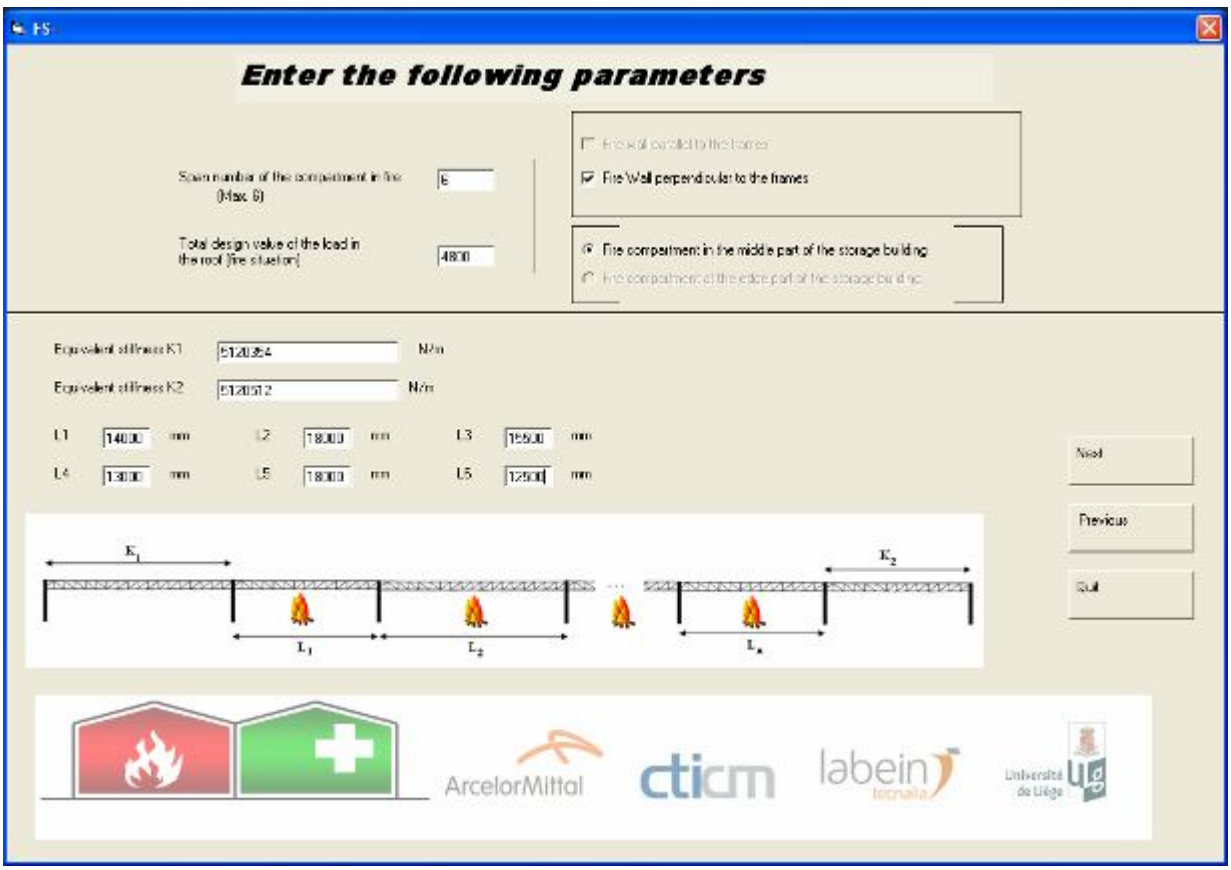
faute de quoi une imprimante sera sélectionnée par défaut. Ce document contiendra les données du problème, les résultats intermédiaires et finaux ainsi que les formules utilisées.

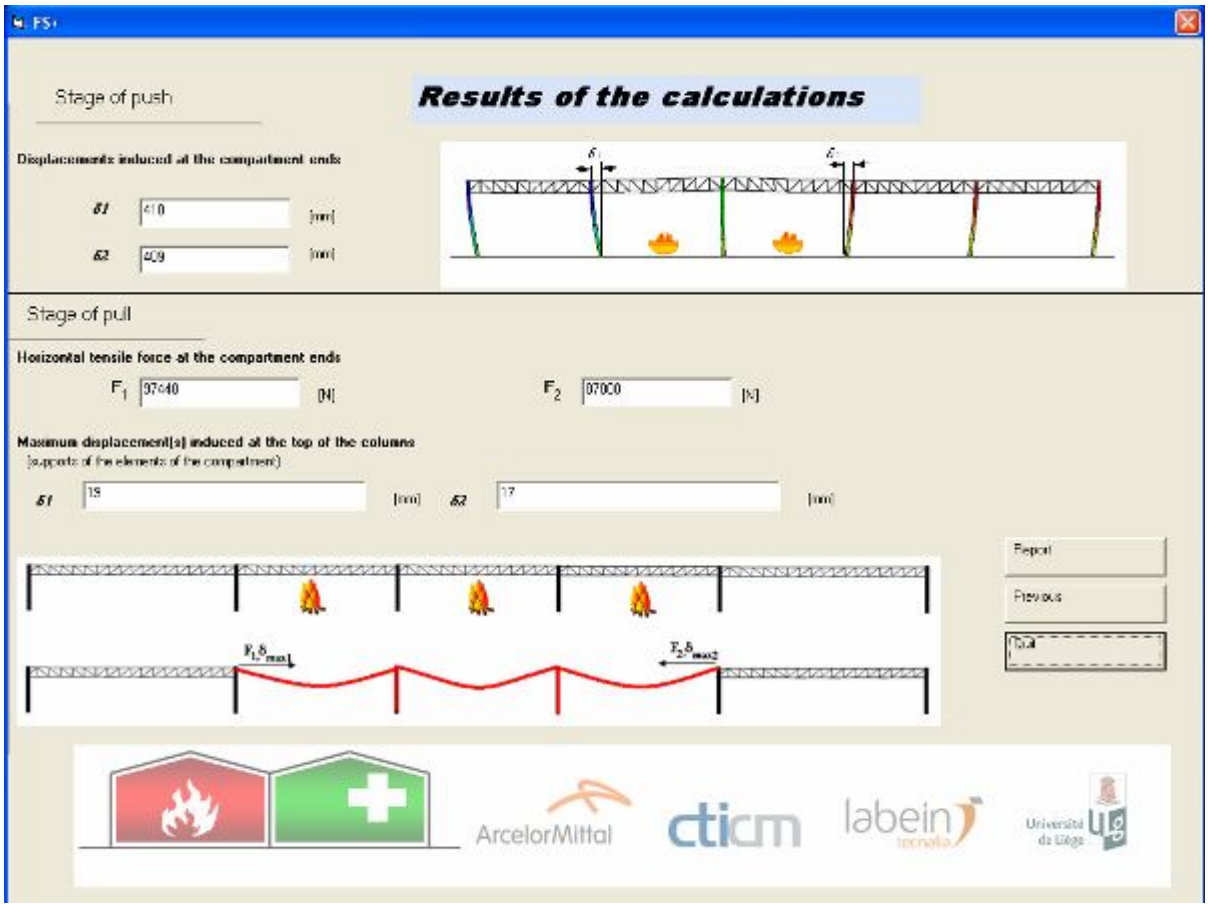
On peut aussi accéder à un résumé du guide de conception en utilisant le bouton 'voir les équations de calcul'.

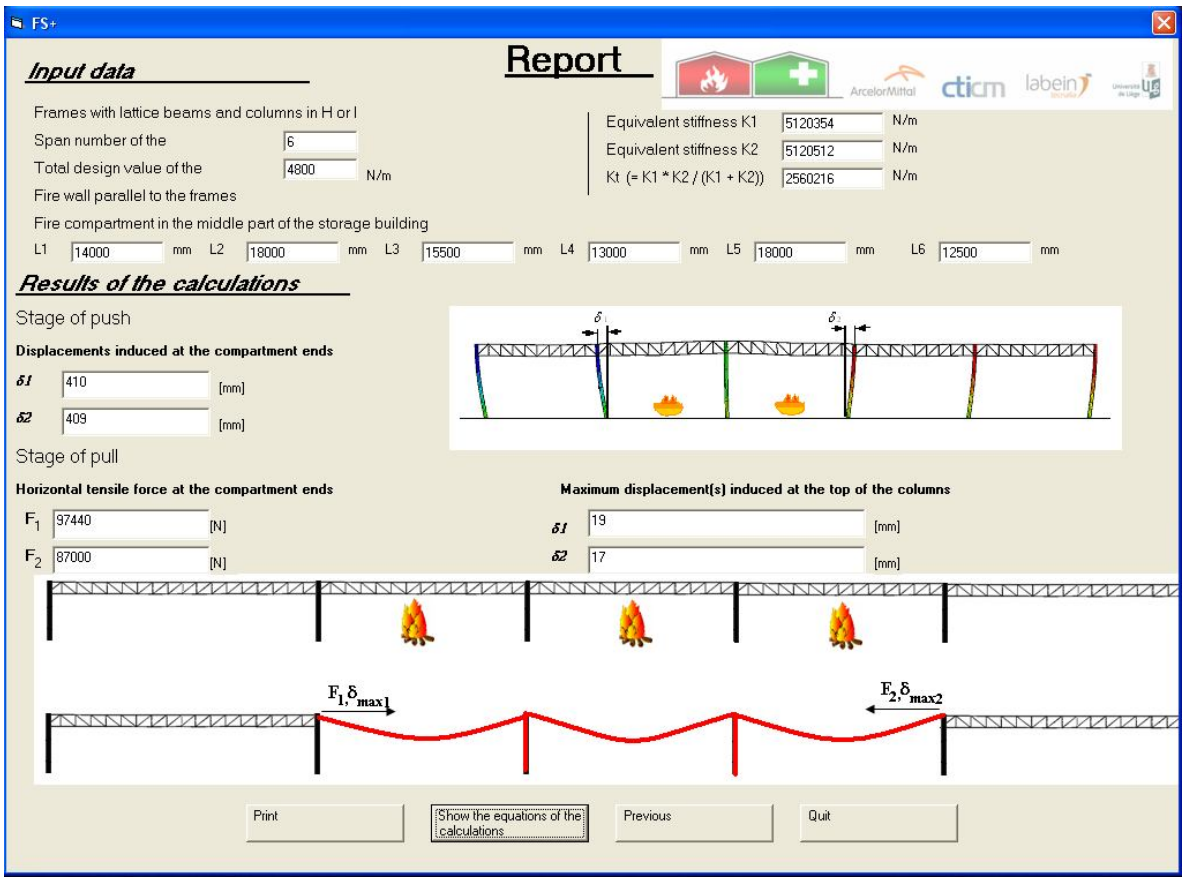
5.4. Revue des différentes fenêtres de l'application

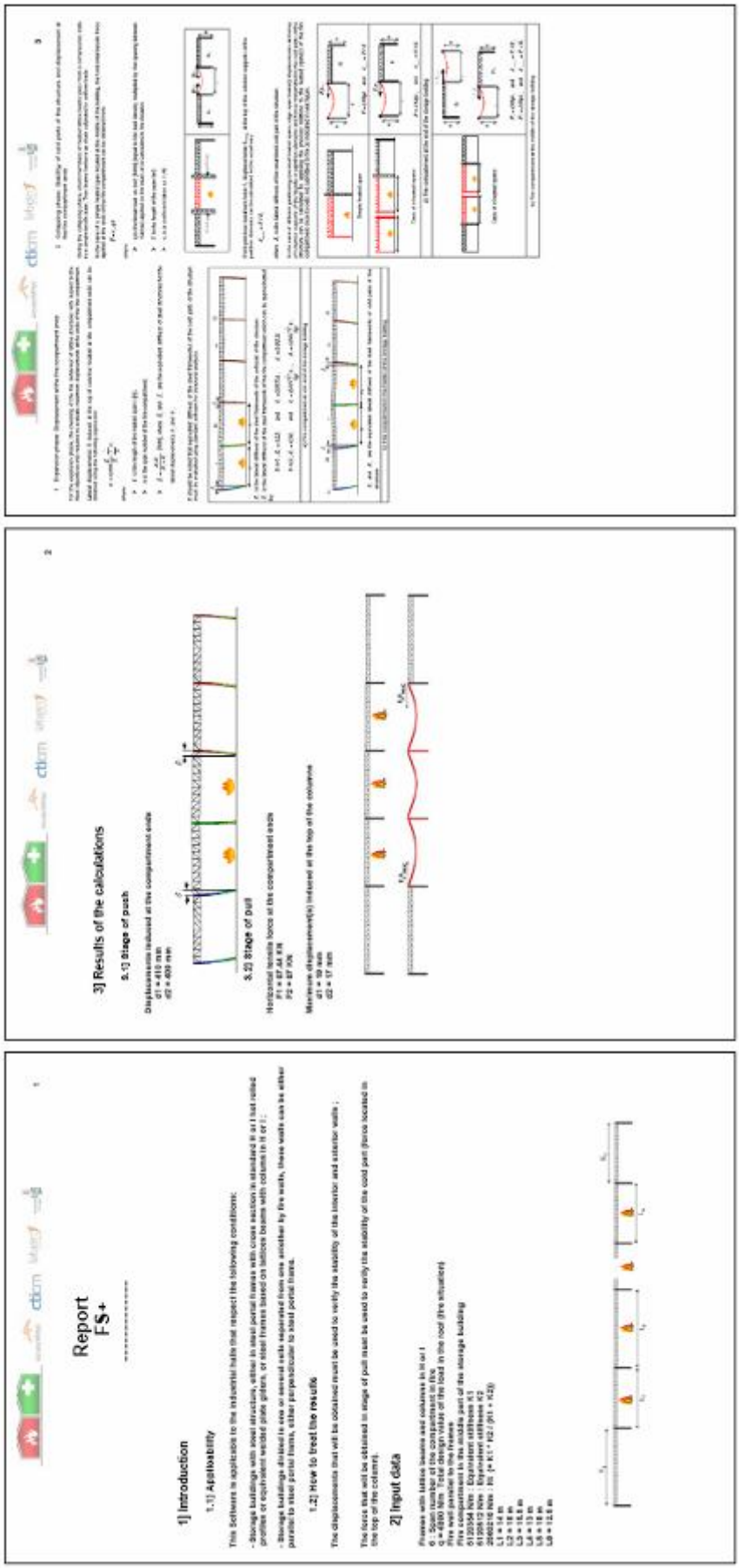



FS+
ArcelorMittal
cticm
labein
tecnalia
Université de Liège
Simple frame
Frames with cross section in H or I hot rolled profiles
Frames with lattice beams and columns in H or I
* With an height H < 15 m (inside collapse)
Fire Safety of Industrial Hall
OK
Previous
Quit


Enter the following parameters
Fire Wall perpendicular to the frames
Fire compartment in the middle part of the storage building
Total design value of the load in the roof (fire situation)
4800
Equivalent stiffness K1
Equivalent stiffness K2
N/m
L1
L2
L3
L4
L5
L6
mm
Next
Previous
Quit
ArcelorMittal
cticm
labein
tecnalia
Université de Liège


FS+
Stage of push
Results of the calculations
Displacements induced at the compartment ends
δ1
410
[mm]
δ2
409
[mm]
Stage of pull
Horizontal tensile force at the compartment ends
F1
97440
[N]
F2
87000
[N]
Maximum displacement(s) induced at the top of the columns
(supports of the elements of the compartment)
δ1
19
[mm]
δ2
17
[mm]
Report
Previous
Quit
ArcelorMittal
cticm
labein
Université de Liège


FS+
Input data
Report
Frames with lattice beams and columns in H or I
Span number of the
6
Total design value of the
4800
N/m
Fire wall parallel to the frames
Fire compartment in the middle part of the storage building
Equivalent stiffness K1
5120354
N/m
Equivalent stiffness K2
5120512
N/m
Kt (= K1 * K2 / (K1 + K2))
2560216
N/m
L1
14000
mm
L2
18000
mm
L3
15500
mm
L4
13000
mm
L5
18000
mm
L6
12500
mm
Results of the calculations
Stage of push
Displacements induced at the compartment ends
δ1
410
[mm]
δ2
409
[mm]
Stage of pull
Horizontal tensile force at the compartment ends
F1
97440
[N]
F2
87000
[N]
Maximum displacement(s) induced at the top of the columns
δ1
19
[mm]
δ2
17
[mm]
F1,δmax1
F2,δmax2
Print
Show the equations of the calculations
Previous
Quit


Report
FS+
1] Introduction
1.1] Applicability
1.2] How to treat the results
2] Input data
3] Results of the calculations
3.1] Stage of push
3.2] Stage of pull

6. Dispositions constructives

Des recommandations complémentaires sont à prendre en compte pour que la ruine de la structure métallique sous condition de feu ne cause aucun endommagement aux murs coupe-feu.

6.1. Mur coupe-feu

Les recommandations proposées peuvent être appliquées à n'importe quel type de mur coupe-feu (CF) tel que les murs en béton léger, en béton armé, en parpaing, en bardage acier avec isolant, en plaques de plâtre, ou tout autre type de matériau. Cependant, les murs coupe-feu doivent être suffisamment flexibles ou fixés d'une manière appropriée pour rester compatibles avec les déplacements horizontaux de la structure métallique sous sollicitation de feu.

6.1.1. Fixation de la façade et des éléments de séparation à la structure métallique

Afin de prévenir tout risque de ruine des éléments de compartimentage et des éléments de façade suite à un déplacement excessif de la structure métallique, il est nécessaire de s'assurer que ces éléments restent solidaires à la structure métallique.

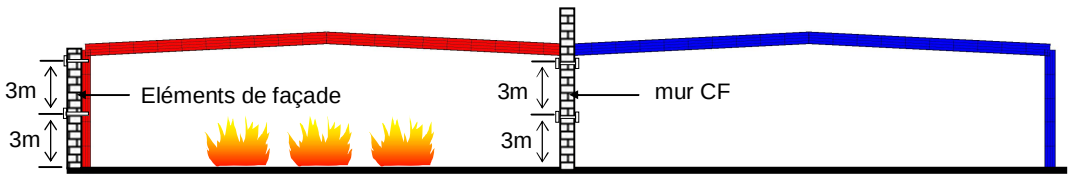


Figure 6-1 Détails constructifs des éléments de séparation

Une solution consiste à fixer ces éléments, par l'intermédiaire de systèmes de fixation appropriés, aux poteaux de la structure porteuse. Par exemple des plaques métalliques horizontales ou des lisses uniformément réparties sur la hauteur du bâtiment, disposées en colonnes et espacés d'une distance limitée. Cette distance limite est fixée par le fournisseur des murs. Une valeur recommandée est de 3 m pour les murs construits sur site (béton, maçonnerie…).

Par ailleurs, les fixations utilisées pour solidariser aux poteaux les murs CF (ainsi que les éléments de façade) doivent être conçues pour résister aux forces générées par le vent ainsi que le poids propre des éléments de compartimentage sous l'effet d'un déplacement latéral induit par le déplacement de la structure métallique du bâtiment de stockage. Si ces fixations sont en acier et ne sont pas protégés contre l'incendie, chacun d'eux doit être dimensionné pour qu'il supporte, à la température ambiante, une force d'arrachement estimée comme suit :

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

avec :

W – est le chargement caractéristique dû au vent utilisé pour le dimensionnement à la température ambiante et appliqué pour chaque fixation

p – est le poids propre du mur

d – est l'espacement entre les différents rangées de portiques

n – est le nombre total des fixations (uniformément distribuées sur la hauteur)

δ_i - est le déplacement horizontal de la structure métallique

6.1.2. Structure métallique avoisinant les éléments de séparation

Les composantes de la structure qui peuvent endommager les murs CF (étant à côté ou traversant les murs) doivent être stables au feu au moins pendant une durée largement supérieure à celle des parties de l'ossature soumises au feu afin d'éloigner du mur CF la localisation des rotules plastiques. La protection incendie doit, donc, être appliquée sur certaines parties de la poutre et des poteaux tel que :

- **L'épaisseur de la protection incendie appliquée aux poteaux et aux poutres peut être simplement calculée en supposant que la section en acier est exposée sur quatre faces et ceci pour une exposition à un feu conventionnel d'une durée d'une heure et pour une température de l'échauffement n'excédant pas les 500°C ;**
- **L'épaisseur de la protection incendie appliquée sur la poutre treillis peut être calculée supposant que la membrure inférieure, les montants et les diagonales sont exposés sur quatre faces et que la membrure supérieure n'est exposée que sur trois faces à un feu conventionnel d'une durée d'une heure et pour une température de l'échauffement n'excédent pas les 500°C.**

6.1.3. Système de toiture au dessus des éléments de séparation

La toiture doit être indépendante d'un compartiment à un autre.

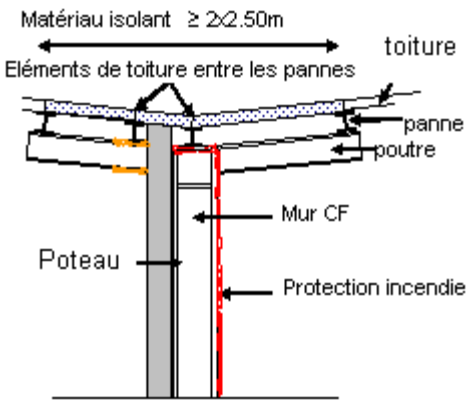


Figure 6-2 Protection incendie de la toiture

- **Pannes des deux côtés du mur CF ;**
- **Arrêt de la toiture des deux côtés du mur CF.**

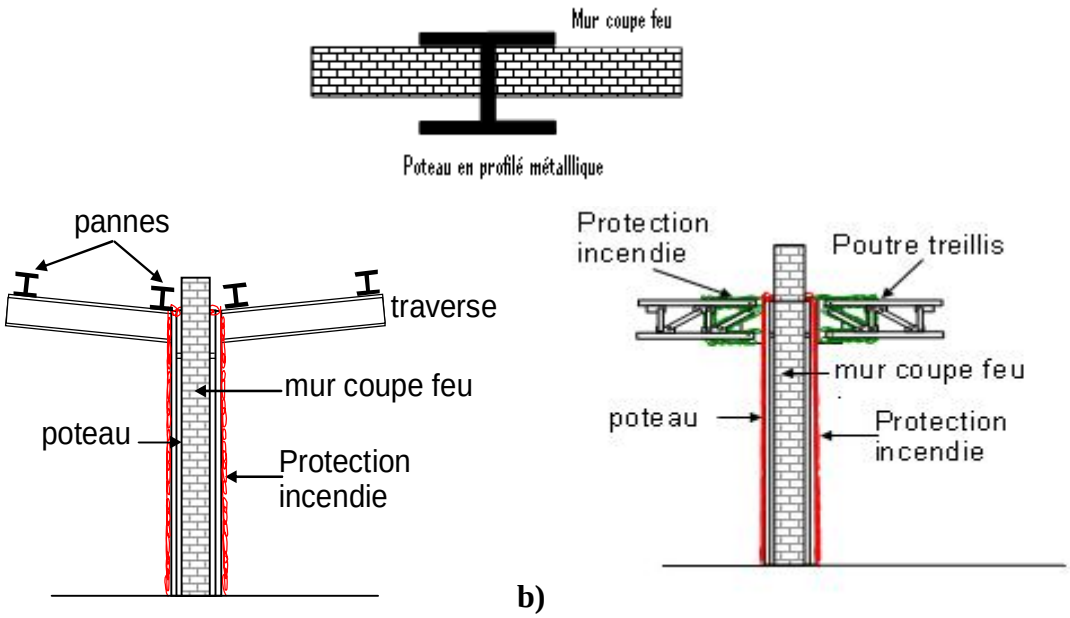
- **Toiture avec protection incendie sur une distance de 2.50 m des deux cotés du mur CF ;**
- **Une autre alternative consiste à faire dépasser le mur CF d'une hauteur spécifique par rapport à la toiture.**

6.2. Mur CF perpendiculaire au sens porteur de la structure

Des recommandations d'ordre général par rapport à la protection incendie des poteaux, poutres et pannes :

- **Les poteaux qui sont insérés ou juxtaposés aux murs CF doivent avoir une protection incendie ;**
- **Les poutres qui coupent les murs CF doivent être protégées sur une distance spécifique à partir du mur. Dans le cas de structures en portique, cette distance minimale doit être de 200 mm, alors que pour des poutres treillis, cette distance doit être égale à la distance séparant le mur du premier montant de la poutre ;**
- **Les pannes ne coupent jamais les murs CF et il n'est donc pas nécessaire de les protéger contre le feu.**

6.2.1. Mur CF inséré entre les semelles d'un poteau

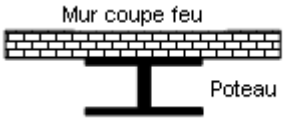


- **a)** **b)**

Figure 6-3 Protection incendie requise pour le mur CF lorsque le mur CF est inséré entre les semelles d'un poteau a) structure en portique b) structure avec poutre treillis

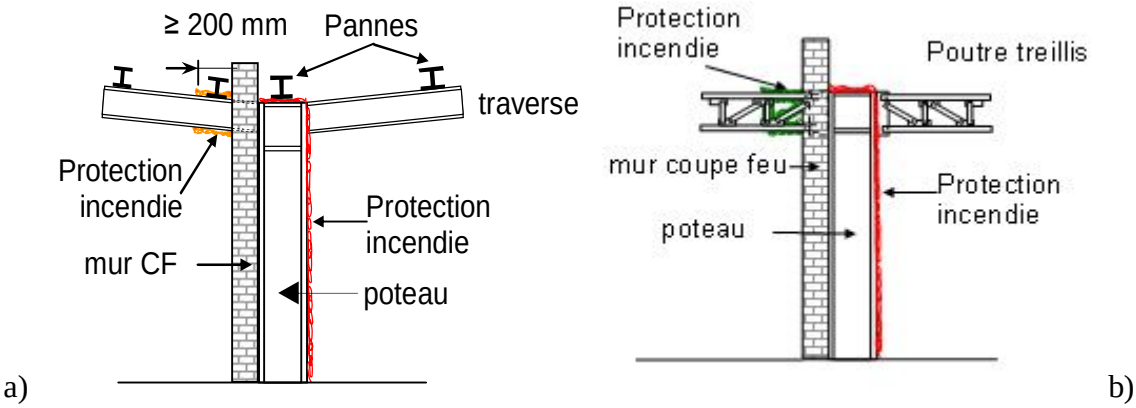
Mis à part le poteau, la poutre treillis du côté du mur doit être protégée sur une longueur minimale égale à la distance séparant le mur du premier montant pour éviter d'éventuels désordres induits par la ruine de la poutre treillis avoisinant le mur CF.

6.2.2. Mur CF accolé à une semelle du poteau



Pour s'affranchir de l'endommagement causé par l'effondrement d'une poutre avoisinant le mur CF, lorsque ce mur est accolé à une semelle d'un poteau, une protection incendie est à prévoir pour cette poutre :

- **Sur une longueur minimale de 200mm à partir du mur pour les structures en portique ;**
- **Sur une longueur minimale égale à la distance séparant le mur du premier montant pour une poutre treillis.**



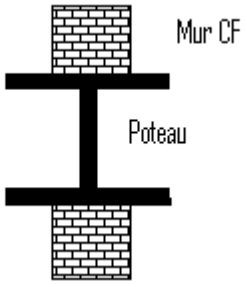
a) b)

Figure 6-4 Protection incendie requise pour le mur CF lorsque le mur CF est accolé à une semelle d'un poteau a)structure en portique b) structure avec poutre treillis

6.3. Mur CF parallèle au sens porteur de la structure

- **Les poutres et poteaux qui sont insérés ou accolés aux murs CF doivent être protégés contre l'incendie ;**
- **Comme les pannes coupent le mur CF, il est donc nécessaire de protéger celles qui sont continues (sur une longueur de 200 mm à partir du mur CF) ou de ne pas prévoir de pannes continues.**

6.3.1. Mur CF dans le plan de la structure métallique



Dans cette situation, la poutre et le poteau doivent être protégés contre l'incendie.

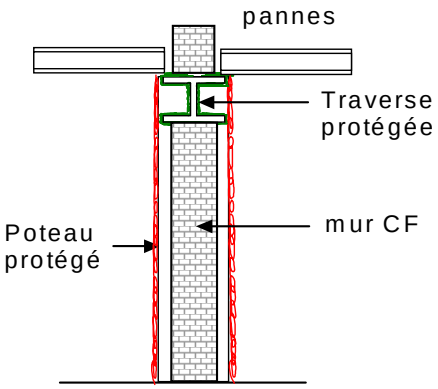
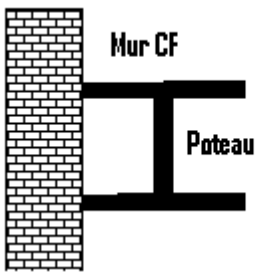


Figure 6-5 Protection incendie d'un poteau lorsque le mur CF est dans le plan de la structure

6.3.2. Mur CF attaché à la structure métallique



Les éléments en acier traversant un mur CF ne doivent pas affecter les performances vis à vis de l'incendie du mur (stabilité, isolation thermique…). Il est donc nécessaire de considérer des solutions constructives de telle sorte que la ruine de la structure de toit à proximité du mur CF n'initie pas sa ruine.

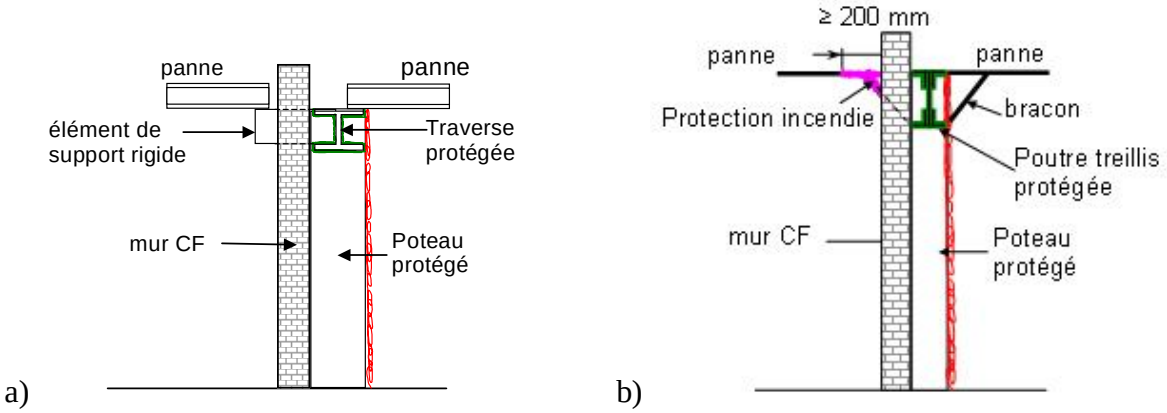


Figure 6-6 Détails constructifs des éléments à côté du mur CF

Dans le cas des structures en portique, les recommandations suivantes sont proposées :

- **Lorsque le mur CF est inséré dans la structure métallique, des éléments rigides en acier fixés sur les poutres devraient être insérés dans le mur pour supporter les pannes ;**
- **Dans le cas de pannes continues, il est recommandé d'appliquer une protection incendie des deux côtés du mur sur une longueur minimale de 200 mm à partir du mur.**

Dans le cas de poutre treillis, les recommandations sont les suivantes :

- **Protéger les pannes et les bracons à côté du mur sur une longueur minimale correspondant à la distance entre le mur et la jonction panne/bracon lorsque la toiture est composée de pannes ;**
- **Appliquer une protection incendie pour les poutres, localisées du coté du mur sur une longueur minimale égale à la distance entre le mur et le premier montant de la poutre, lorsque la toiture est formée de poutre treillis.**

6.3.3. Mur CF entre deux portiques

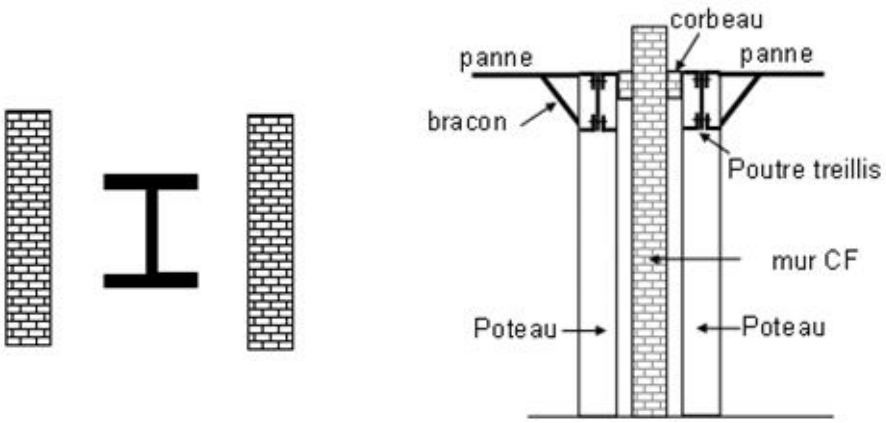


Figure 6-7 Mur CF inséré entre deux portiques

Les poutres treillis ne permettent pas d'insérer un mur jusqu'au toit, donc une solution consiste à subdiviser le bâtiment en deux structures indépendantes et d'insérer entre elles un mur CF.

6.4. Recommandations pour le contreventement

6.4.1. Mur coupe feu perpendiculaire à la structure métallique

L'exigence de non effondrement vers l'extérieur dans la direction longitudinale (perpendiculaire à la structure métallique) peut être satisfaite par l'utilisation de système de contreventement approprié. Spécifiquement, chaque compartiment doit avoir son propre système de contreventement (voir Figure 6-8). Donc, les solutions suivantes peuvent être adoptées :

- **Utilisation d'un contreventement additionnel de chaque côté du mur coupe feu. Ce système doit être dimensionné pour résister à une charge horizontale égale à 20% de la charge normale de vent (selon la pondération de charge en situation d'incendie) calculée pour une surface de pignon "S" limitée à la largeur d'une seule travée (S=h×l) ;**
- **Doubler le contreventement de part et d'autre du mur CF ou protéger le système de contreventement précédent.**

Toutefois, ces systèmes de contreventement doivent être compatibles avec le dimensionnement de la structure à température ambiante de telle sorte qu'ils n'entrainent pas, par exemple, des problèmes au niveau des joints de dilatation.

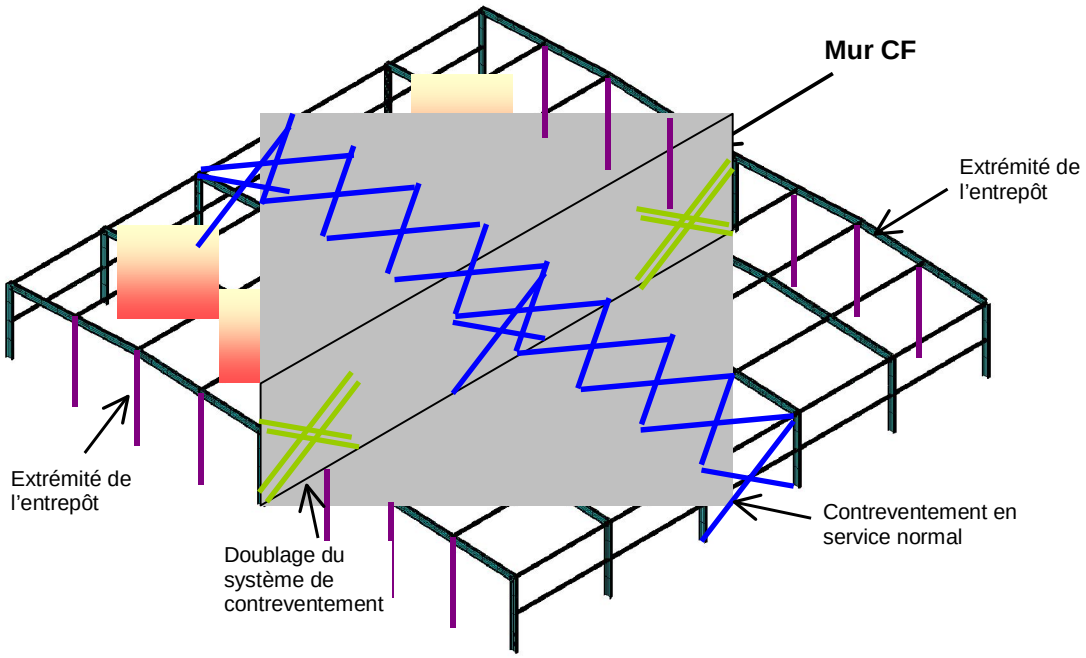


Figure 6-8 Système de contreventement à l'extrémité longitudinale du bâtiment de stockage

6.4.2. Mur coupe feu parallèle au sens porteur de la structure

Des systèmes de contreventement (vertical entre poteaux et horizontal pour le toit) sont généralement localisés dans le même compartiment. Lorsque les murs CF sont parallèles au sens porteur de la structure, il est nécessaire de rajouter, dans chaque cellule, un système de contreventement (vertical et horizontal en toiture) afin que la ruine d'une cellule n'entrave pas la stabilité d'ensemble du bâtiment (Figure 6-9). Chaque système de contreventement doit être conçu pour résister à une charge horizontale uniforme prise égale à :

$$F = 1.19\, q \qquad \text{Equation 6-2}$$

où

$$q = G + 0.2\, S \quad \Rightarrow \quad \textit{Equation } 4\text{–}7$$

Lorsque le mur CF est accolé à l'ossature métallique, les éléments de contreventement doivent être fixés, côté mur, le cas échéant, sur les éléments rigides mis en œuvre pour supporter les pannes.

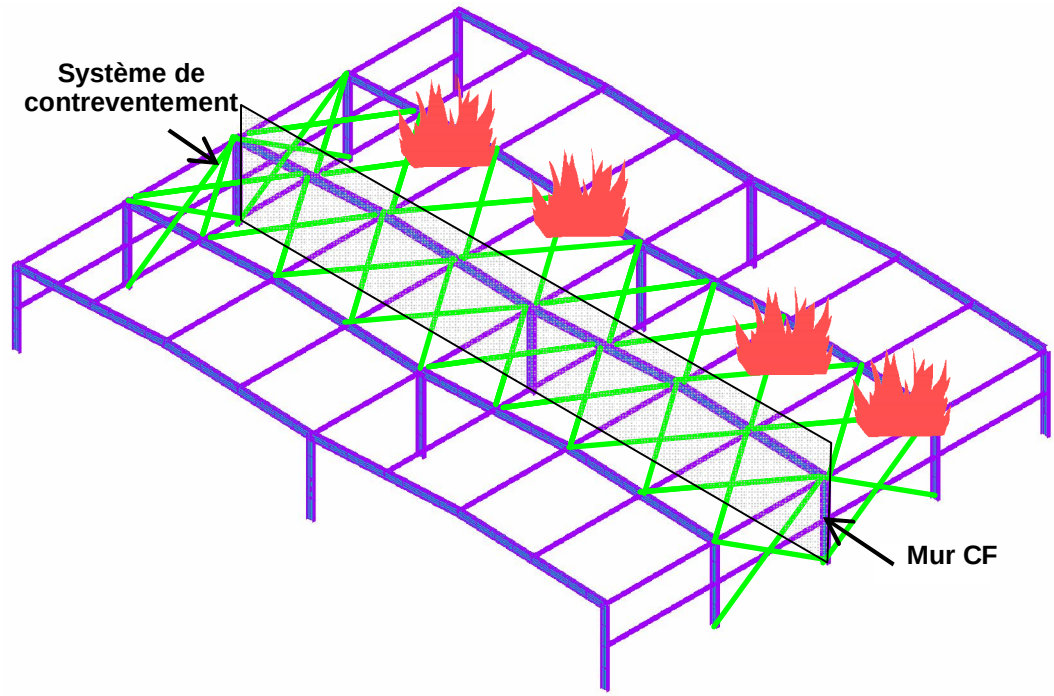


Figure 6-9 Système de contreventement du bâtiment de stockage

6.5. Dispositions additionnelle pour les portiques à simple nef isolée

Des études paramétriques [6, 11, 12] effectuées à l'aide d'un modèle de calcul avancé développé sous SAFIR [5, 10] a montré que l'effondrement pourrait avoir lieu vers l'extérieur dans le cas de portique à simple nef (Figure 6-10).

Dans de telles conditions, le mode de ruine vers l'extérieur peut être évité en donnant à l'assemblage du poteau au niveau de sa fondation, ainsi qu'à la capacité de résistance de cette fondation, une résistance ultime à froid telle que la charge verticale correspondant à la situation accidentelle d'incendie puisse être reprise en

concomitance avec un moment de flexion égal à 20% du moment plastique ultime à froid du poteau.

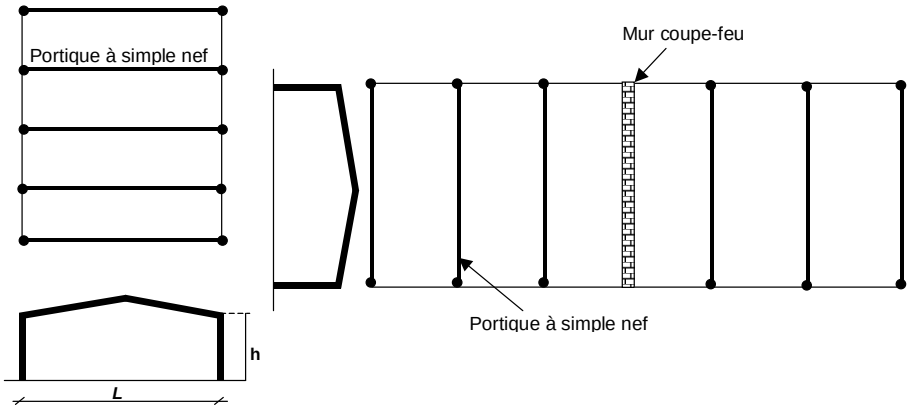


Figure 6-10 Bâtiments de stockage en portique à simple nef isolé

7. Références bibliographiques

[1] LENAS – Logiciel de simulation du comportement mécanique des structures métalliques soumises à un incendie – Article de la Revue Construction Métallique n°3 – 1999.

[2] N. AYME et D. JOYEUX, “Méthode de vérification du comportement au feu d’entrepôts en acier”, revue 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” , Journal of the Australian institute of Steel Construction, Vol. 26, n°2, May 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, BHPRML/CM7/90/001, December 1990.

[9] NFPA 221, “Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls”, 2000.

[10] SAFIR Software, “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, “Etude 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.