

# Exemple d'application de l'EN 1991-1-1: Feu de compartiment

P. Schaumann, T. Trautmann

University of Hannover – Institute for Steel Construction, Hannover, Germany

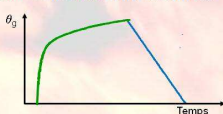
## 1 OBJECTIF

**feu dans un compartiment**  
Fonction

Détermination de la température des gaz d'un feu généralisé  
Annexe A informative de l'EN 1991-1-2  
⇒ Applicable pour un pré-dimensionnement puis recours à l'ingénierie du comportement au feu

Courbe paramétrée Température–Temps en 2 phases :  
1 Phase d'échauffement + 1 Phase de refroidissement

$\theta_g = f(q_{f,d}, O, b)$



**DIF+SEK** Partie 4 : Exemples d'application 5 / 62

L'objectif est de calculer la température des gaz dans un bureau dans le cas d'un feu généralisé. Un modèle de feu naturel est utilisé pour calculer la température des gaz chauds. Il s'agit du modèle de feu paramétré décrit dans l'annexe A de l'EN 1991-1-2. Cette annexe étant informative au plan national, le recours à cette méthode n'est possible qu'en cas de prédimensionnement.

**feu dans un compartiment**

❖ Caractéristiques du compartiment

Plancher et plafond en béton armé:  
•  $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$   
•  $c = 840 \text{ J/kgK}$   
•  $\lambda = 1,57 \text{ W/mK}$

h<sub>sp</sub> = 1,537m

Ouvertures (n=4)  
b<sub>op</sub> = 3,85m

L = 10m

Murs en béton léger:  
•  $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$   
•  $c = 840 \text{ J/kgK}$   
•  $\lambda = 0,22 \text{ W/mK}$

h = 3,15m

h = 3,8m

Surface de plancher:  $A_f = l \cdot L = 85 \text{ m}^2$   
Surface totale ouvertures:  $A_o = n \cdot h_{op} \cdot b_{op} = 23,67 \text{ m}^2$   
Surface totale du compartiment:  $A_c = 2 \cdot A_f + 2 \cdot (l + L) \cdot h = 286,55 \text{ m}^2$   
(mur+plancher+plafond+ouvertures)

**DIF+SEK** Partie 4 : Exemples d'application 7 / 62



Figure 1: Exemple de bureau

Aire du plancher:	$A_f = 85 \text{ m}^2$
Aire totale des ouvertures verticales :	$A_v = 23,67 \text{ m}^2$
Hauteur:	$H = 3.15 \text{ m}$
Hauteur des ouvertures :	$h_{eq} = 1.537 \text{ m}$
Béton léger:	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$
	$c = 840 \text{ J/kgK}$
	$\lambda = 0.22 \text{ W/mK}$

## 2 DÉTERMINATION PRELIMINAIRE DES FACTEURS GEOMETRIQUES

Pour le calcul des phases d'échauffement et de refroidissements de la courbe paramétrée température-temps, le facteur d'inertie thermique  $b$  doit être calculé. Pour le calcul de  $b$ , on se base sur les valeurs de la densité, de la chaleur spécifique et de la conductivité thermique des parois à température ambiante.

$$\text{Plancher et plafond : } b = \sqrt{\rho c \lambda} = \sqrt{2300 \cdot 840 \cdot 0,157} = 1742 \text{ Jm}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$$

$$\text{Murs : } b = \sqrt{\rho c \lambda} = \sqrt{500 \cdot 840 \cdot 0,22} = 304 \text{ Jm}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$$

$$\text{D'où pour le compartiment : } b = \frac{\sum(b_i A_i)}{A_t - A_v} = 1234 \text{ Jm}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$$

Les facteurs d'inertie thermiques sont bien dans l'intervalle [100 ; 2200].

De la même manière on calcule le facteur d'ouverture  $O$  et on vérifie qu'il est dans l'intervalle [0,02 ; 0,2] :

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{23,67 \cdot \sqrt{1,537}}{286,55} = 0,1024 \text{ m}^{0,5}$$

Il ne reste plus qu'évaluer  $\Gamma$  :

$$\Gamma = \frac{(O / b)^2}{(0,04 / 1160)^2} = 5,791$$

**feu dans un compartiment**

◆ Phase d'échauffement et température maximale

**Inertie thermique:**

- plancher et plafond:  $b = \sqrt{\rho c \lambda} = \sqrt{2300 \cdot 840 \cdot 1,57} = 1742 \text{ Jm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- murs:  $b = \sqrt{\rho c \lambda} = \sqrt{500 \cdot 840 \cdot 0,22} = 304 \text{ Jm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Enceinte totale:  $b = \frac{\sum (b_i A_i)}{A_t - A_o} = 1234 \text{ Jm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$

**Facteur d'ouverture:**  $O = \frac{A_o \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{23,67 \cdot \sqrt{1,537}}{286,55} = 0,1024 \text{ m}^{0,5}$

Où  $h_{eq}$  est la moyenne pondérée de la hauteur de fenêtre ( $h_{eq} = 1,537 \text{ m}$ ).  
Le facteur d'ouverture doit être supérieur à  $0,02 \text{ m}^{0,5}$  et inférieur à  $0,2 \text{ m}^{0,5}$ .

**DIFISEK** Partie 4 : Exemples d'application 8 / 62

### 3 DETERMINATION DE LA DENSITE DE CHARGE CALORIFIQUE

Annexe nationale

Un modèle de calcul de la densité de charge calorifique est présenté dans l'Annexe nationale (l'annexe E de l'EN 1991-1-2 n'étant pas applicable au plan national). La valeur de calcul de la densité de charge calorifique peut-être déterminée à partir d'un classement national des charges calorifiques selon le type d'occupation et/ou de manière spécifique à partir d'un projet particulier en effectuant une étude de charge calorifique.

Dans l'exemple traité, la première méthode est choisie. La densité de charge calorifique est définie par :

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m = 740,0,8 = 592 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

Où:

$m$  est le coefficient de combustion ;

$q_{f,k}$  est la densité de charge calorifique caractéristique par unité de surface de plancher [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]

Pour un bureau courant, la charge calorifique est composée majoritairement de matériaux cellulosiques (bois, papier). Par conséquent, le facteur de combustion est :

$$m = 0,8$$

Concernant la densité de charge calorifique caractéristique, la valeur retenue dans l'annexe nationale est de  $740 \text{ MJ}/\text{m}^2$ .

On obtient alors la charge calorifique suivante :

$$q_{t,d} = \frac{q_{f,d} A_f}{A_t} = \frac{592,85}{286,55} = 175,6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

**feu dans un compartiment**

◆ Phase d'échauffement et température maximale

**Facteur:**  $\Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0,04/11,60)^2} = \frac{(0,1024/1234)^2}{(0,04/11,60)^2} = 5,791$

**Densité de charge calorifique:**  $q_{f,d} = \frac{q_{f,k} A_f}{A_t} = \frac{(740 \cdot 0,8) \cdot 85}{286,55} = 175,6 \text{ MJm}^{-2}$

**Durée phase échauffement:**

$$t_{max} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 10^{-1} \cdot q_{f,d} / O \\ t_{min} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 10^{-1} \cdot 175,6 / 0,1024 \\ 0,333 \end{array} \right\} = 0,343 \text{ heure}$$

Avec  $t_{min} = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ h}$  (feu à vitesse de développement moyenne)

**Température maximale:**

$$t'_{max} = t_{max} \Gamma = 0,343 \times 5,791 = 1,986 \text{ heures}$$

$$\theta_{max} = \theta(t_{max}) = 20 + 1325 \left( 1 - 0,324 e^{-0,2 \cdot 1,986} - 0,204 e^{-1,74 \cdot 1,986} - 0,472 e^{-19,4 \cdot 1,986} \right)$$

$$\theta_{max} = 1047^\circ \text{C}$$

**DIFISEK** Partie 4 : Exemples d'application 9 / 62

#### 4 DUREE DE LA PHASE D'ECHAUFFEMENT

Annexe A

Elle doit être déterminée via la formule :

$$t_{max} = \max \left\{ 0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d}/O \right\}_{t_{lim}} = \max \left\{ 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 175,6/0,1024 \right\}_{0,333} = 0,343 \text{ h}$$

En effet, toujours selon l'annexe nationale pour des locaux de type bureau le feu est supposé à développement moyen ( $t_{lim} = 20 \text{ min}$ ).

La température maximale est obtenue pour  $t_{max}^* = t_{max} \cdot \Gamma = 0,343 \cdot 5,791 = 1,986 \text{ h}$  soit 1 h 59 min et vaut :

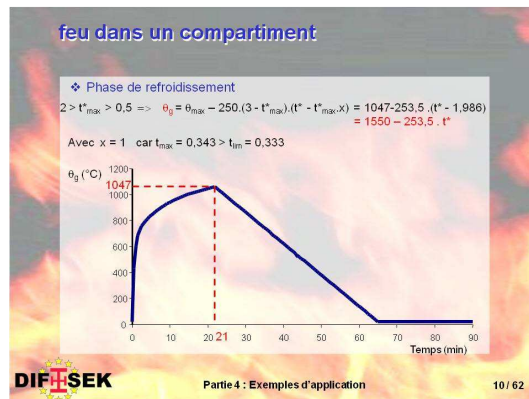
$$\theta_{max} = 20 + 1325(1 - 0,324e^{-0,2 \cdot 1,986} - 0,204e^{-1,7 \cdot 1,986} - 0,472e^{-19,1,986})$$

$$\theta_{max} = 1047^\circ\text{C}$$

Puisque  $2 > t_{max}^* > 0,5$  la température suit l'équation suivante lors de la phase de refroidissement :

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t_{max}^*) \cdot (t^* - t_{max}^* \cdot x) = 1550 - 253,5 \cdot t^*$$

Avec  $x = 1$  car  $t_{max} = 0,343 \text{ h} > t_{lim} = 0,333 \text{ h}$ .



La combinaison des courbes d'échauffement et de refroidissement conduit à la courbe température-temps paramétrée présentée sur la figure ci-dessus.

#### REFERENCES

EN 1991, *Eurocode 1: Actions sur les structures– Partie 1-2: Actions générales – Actions sur les structures exposée au feu*, Bruxelles: CEN, Novembre 2002.

*The Behaviour of multi-storey steel framed buildings in fire*, Moorgate: British Steel plc, Swinden Technology Centre, 1998

*Valorisation Project: Natural Fire Safety Concept*, Sponsored by ECSC, June 2001