

Feu paramétrique de compartiment
Application de l'EN 1991-1-2

I.1 Objectif

L'objectif est de calculer la température des gaz d'un feu généralisé dans un bureau. La pièce de l'essai du bureau reconstitué du bâtiment de Cardington a été choisie pour cette analyse. Les températures mesurées au cours de l'incendie généralisé sont présentées sur la figure I.3 et comparées aux températures calculées.

Un modèle de feu naturel est utilisé pour calculer la température des gaz chauds. Pour les feux avec "flash-over, la méthode des feux de compartiment peut être utilisée. Une méthode de calcul simplifiée pour une courbe paramétrée température-temps est décrit dans l'annexe A de l'EN 1991-1-2.



Figure I.1 Bâtiment de Cardington (gauche) et le bureau de l'essai de bureau reconstitué (droite)

Les données sont représentées sur la figure I.2

Aire du plancher	$A_f = 135 \text{ m}^2$
Aire totale des ouvertures verticales	$A_v = 27 \text{ m}^2$
Facteur d'ouverture verticale	$\alpha_v = 0,2$
Facteur d'ouverture horizontal	$\alpha_h = 0,0$
Hauteur	$H = 4,0 \text{ m}$
Hauteur moyenne des ouvertures	$h_{eq} = 1,8 \text{ m (hypothèse)}$
Béton léger	$\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$
	$c = 840 \text{ J/kgK}$
	$\lambda = 1,0 \text{ W/mK}$

I.2 Déterminations de la densité de charge calorifique en EN1991-1-2

Un modèle de calcul de la densité de charge calorifique est présenté dans l'Annexe E de l'EN 1991-1-2. La valeur de calcul de la densité de charge calorifique peut-être déterminée de manière spécifique à partir d'un projet particulier en effectuant une étude de charge calorifique.

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

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad (I.1)$$

- m est le coefficient de combustion ;
- δ_{q1} est le coefficient qui prend en compte le risque d'activation du feu lié à la taille du compartiment ;
- δ_{q2} est le facteur qui prend en compte le risque d'activation du feu lié au type d'occupation
- δ_n est un coefficient qui prend en compte les différentes mesures actives de lutte contre le feu.

Pour l'essai de Cardington, la charge calorifique est composée de 20% de plastiques, 11% de papier et 69% de bois, c'est-à-dire uniquement de matériaux cellulosiques.

Par conséquent, le facteur de combustion est : $m = 0,8$.

Le facteur δ_{q1} prend en compte, comme indiqué dans le tableau 1, le risque d'activation du feu liée à la taille du compartiment.

Tableau I.1 Valeurs du coefficient δ_{q1} (voir EN 1991-1-2, Tableau E.1)

Risque d'activation du feu δ_{q1}	surface de plancher du compartiment A_f [m ²]				
	≤ 25	≤ 250	≤ 2500	≤ 5000	$\leq 10,000$
	1,10	1,50	1,90	2,00	2,13

Pour l'essai de Cardington : $\delta_{q1} = 1,5$

Le facteur δ_{q2} prend en compte le risque d'activation du feu lié au type d'occupation. Il est donné dans le tableau 2.

Tableau I.2 Valeurs du coefficient δ_{q2} (voir EN 1991-1-2, Tableau E.1)

Risque d'activation du feu δ_{q2}	Exemple de type d'occupation
0,78	Galerie d'art, muse, piscine
1,00	Bureaux, résidence, hôtel, industrie papetière
1,22	Fabrique de machines et de moteurs
1,44	Laboratoire de chimie, atelier de peinture
1,66	Fabrique de peinture ou d'artifices

Pour l'essai de Cardington : $\delta_{q2} = 1,5$

Le facteur qui prends en compte toute les mesures actives de lutte contre le feu est défini par :

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni} \quad (I.2)$$

Les facteurs δ_{ni} sont donnés dans le tableau I.3.

Tableau I.3 Les facteurs δ_{ni} suivant le système d'activation (voir EN 1991-1-2, Tableau E.2)

		δ_{ni} fonction de mesures actives contre le feu		
Suppression automatique du feu	Système d'extinction à eau automatique	δ_{n1}	0,61	
	Approvisionnement en eau indépendants	0	1,0	
δ_{n2}		1	0,87	
Détection automatique du feu	Détection automatique du feu	δ_{n3} Par la chaleur	0,87	
		δ_{n4} Par la fumée	0,73	
	Alarme automatique transmise aux pompiers	δ_{n5}	0,87	
Suppression manuelle du feu	Pompiers sur site	δ_{n6}	0,87	
	Pompiers hors site	δ_{n7}	0,61	
	Voies d'accès libres	δ_{n8}	0,78	
	Equipement de lutte contre le feu			0,9 ou
		δ_{n9}		1,0 ou 1,5
Système de désenfumage	δ_{n10}		1,0 ou 1,5	

Pour l'essai de Cardington :

$$\delta_n = 1,0 \cdot 0,73 \cdot 0,87 \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,50$$

Avant de calculer la densité de charge calorifique, Il est nécessaire de calculer la charge calorifique caractéristique. Elle est définie par :

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i \quad (I.3)$$

Où :

$M_{k,i}$ est la quantité de matériau combustible ; l [kg]

H_{ui} est le pouvoir calorifique inférieur [MJ/kg], (EN 1991-1-2, Tableau E.3);

ψ_i le coefficient facultatif permettant les charges calorifiques protégées

La charge calorifique totale était équivalente à 46 Kg de bois/m². Par conséquent, la charge calorifique caractéristique est :

$$Q_{fi,k} = (135 \cdot 46) \cdot 17,5 \cdot 1,0 = 108,675 \text{ MJ}$$

La densité de charge calorifique caractéristique est définie par :

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A_f = 108,675 / 135 = 805 \text{ MJ/m}^2$$

On obtient alors la densité de charge calorifique suivante :

$$q_{f,d} = 805 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 483,0 \text{ MJ/m}^2$$

I.3 Détermination préliminaire des facteurs géométriques

Pour le calcul des phases d'échauffement et de refroidissements de la courbe paramétrée température-temps, le facteur b doit être calculé. Ce facteur prend en compte l'absorptivité thermique des parois de l'enceinte. Pour le calcul de b , il est possible de se baser sur les valeurs de la densité, la chaleur spécifique et la conductivité thermique des parois à température ambiante.

Le plafond, la dalle et les murs sont constitués de béton léger :

$$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda} = \sqrt{1900 \cdot 840 \cdot 1,0} = 1263 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{s}^{1/2} \text{K}} \begin{cases} \geq 100 \\ \leq 2200 \end{cases}$$

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] :

Facteur d'ouverture :

$$O = A_v \sqrt{h_{eq.}} / A_t = \sqrt{1,8} \cdot 27 / 474 = 0,076 \text{m}^{1/2} \begin{cases} \geq 0,02 \\ \leq 0,2 \end{cases}$$

Il ne reste plus qu'évaluer Γ :

$$\Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0,04/1160)^2} = \frac{(0,076/1263,3)^2}{(0,04/1160)^2} = 3,04$$

La valeur de calcul de la densité de charge calorifique relative à la surface totale est donnée par :

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t = 483,0 \cdot 135 / 474 = 137,6 \text{ MJ} / \text{m}^2$$

I.4 Calcul de la courbe paramétrées température/temps

Elle est déterminée lorsque le feu généralisé est contrôlé en ventilation ou en fioul. Dans ce cas la détermination, si le feu est contrôlé par le combustible ou par la ventilation est :

$$t_{\max} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O \\ t_{\lim} \end{array} \right.$$

Dans le cas d'un feu à faible vitesse de développement, $t_{\lim} = 25$ min, dans le cas d'un feu à vitesse de développement moyenne, $t_{\lim} = 20$ min, dans le cas d'un feu à vitesse de développement élevée, $t_{\lim} = 15$ min.

Pour des locaux de type bureau le feu est supposé à développement moyen ($t_{\lim} = 20$ min = 0,333 h).

$$0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 137,6 / 0,076 = 0,362 \text{ h} > t_{\lim} = 0,333 \text{ h}$$

Avec la condition vérifiée, le feu est contrôlé par la ventilation. La courbe température-temps en phase d'échauffement est donnée par :

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*}) \quad (\text{I.4})$$

Etant donné que le feu est contrôlé par la ventilation, le temps t est calculé de la manière suivante :

$$t^* = t \cdot \Gamma \quad (\text{I.5})$$

I.4.1 Durée de la phase d'échauffement

On peut maintenant calculer la phase d'échauffement par :

$$\theta_g = 20 + 1325. (1 - 0,324. e^{-0,2 (3,04.t)} - 0,204. e^{-1,7 (3,04 t)} - 0,472. e^{-19.(3,04.t)}) \quad (I.6)$$

I.4.2 Durée de la phase de refroidissement

Pour le calcul de la phase de refroidissement, il faut calculer la température maximale :

$$\theta_{max} = 20 + 1325. (1 - 0,324. e^{-0,2.t_{max}^*} - 0,204. e^{-1,7.t_{max}^*} - 0,472. e^{-19.t_{max}^*}) \quad (I.7)$$

Avec : $t_{max}^* = \Gamma. t_{max}$

Le temps t_{max} est calculé de la manière suivante :

$$t_{max} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2. 10^{-3}. q_{t,d}/0 = 0,2. 10^{-3}. 137,6/0,067 \\ = 0,333h \end{array} \right.$$

Où t_{lim} est donné dans le tableau I.4.

Tableau I.4. Temps t_{lim} en fonction de la vitesse de développement du feu

	Faible vitesse de développement	Vitesse de développement moyenne	Vitesse de développement élevée
t_{lim} [h]	0,417	0,333	0,250

Par conséquent, le temps t_{max} est calculé de la manière suivante :

$$t_{max}^* = 0,326.3,04 = 1,10h$$

La température maximale est

$$\begin{aligned} \theta_{max} &= 20 + 1325(1 - 0,324. e^{-0,2.1,1} - 0,204. e^{-1,7.1,1} - 0,472. e^{-19.1,1}) \\ &= 958,8^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Pendant la phase de refroidissement, t^* et t_{max}^* sont calculé de la manière suivante :

$$t^* = t. \Gamma = 3,04t \quad [\text{h}]$$

$$t_{max}^* = 0,2. 10^{-3}. q_{t,d}/0. \Gamma = 1,10 h$$

La courbe température-temps en phase de refroidissement si $0,5h < t_{max}^* < 2h$ est

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t_{max}^*)(t^* - t_{max}^*. x) \quad (I.8)$$

Donnée par :

$$\theta_g = 958,8 - 659,5. (t^* - 1,10.1,0)$$

$$\theta_g = 1684,25 - 2004,9. t$$

La combinaison des courbes d'échauffement et de refroidissement conduit à la courbe température-temps paramétrée présentée sur la figure I.2.

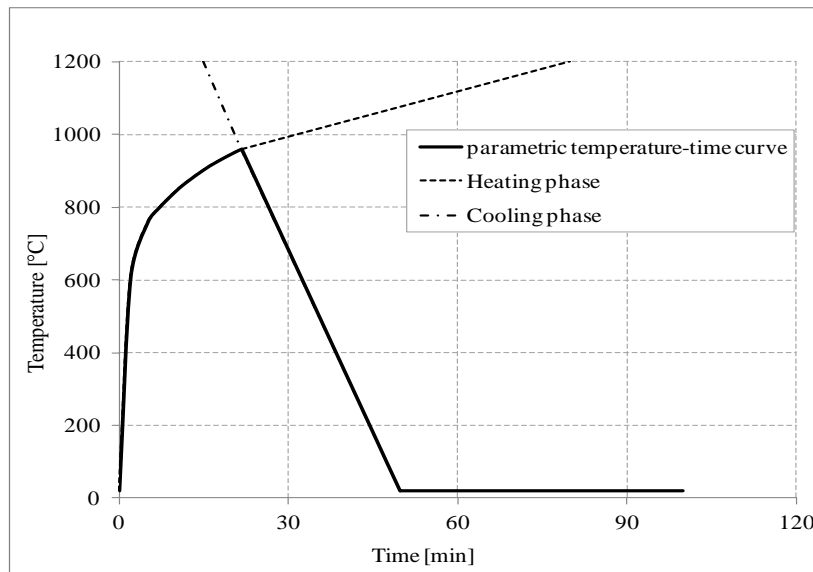


Figure I.2 Température des gaz dans le bureau, calculée en utilisant la courbe température-temps paramétrée.

I.5 comparaison entre calcul et essai au feu

Afin de comparer les températures calculées avec les températures mesurées au cours de l'essai, pour le calcul de la densité de charge calorifiques les facteurs δ_1 , δ_2 et δ_{ni} ont été pris égaux à 1. La figure 3 montre la comparaison entre la courbe calculée et les courbes mesurées.

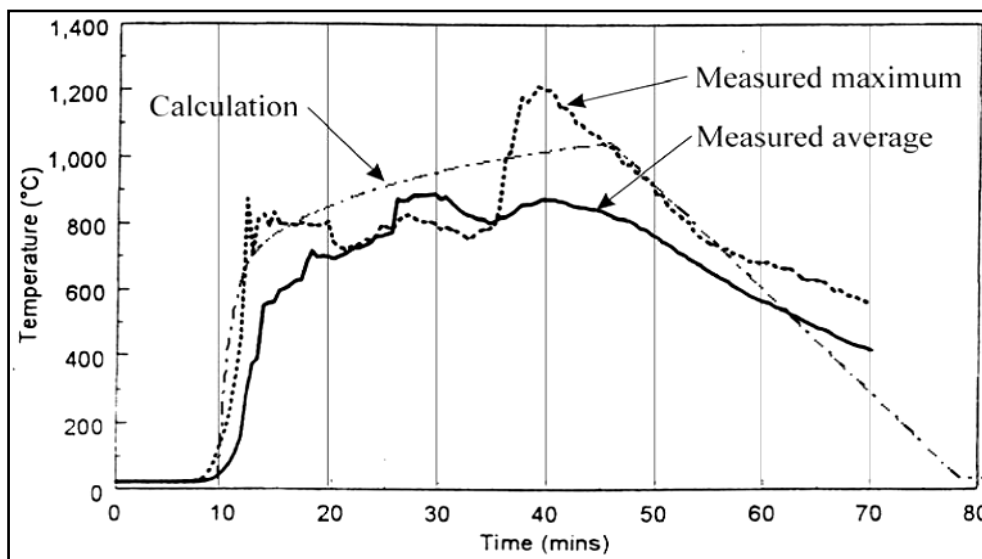


Figure I.3 Comparaison entre les courbes température-temps mesurée et calculée

La comparaison montre la capacité de ce modèle simplifié à reproduire le scénario de l'essai Cardington.