



Logiciel de vérification par calcul de la résistance  
au feu des structures en béton

Philippe Fromy

# Le volet thermique de CIM'feu-EC2

## Des exigences :

- Calculer la distribution de température dans une section droite de béton soumis aux effets d'un feu caractérisé par une température suivant la loi ISO R834, hydrocarbure et de feu extérieur.
- Intégrité du béton admise (pas d'éclatement)
- Précision acceptable des résultats, c'est-à-dire proches de résultats expérimentaux et voisins de ceux fournis par des logiciels plus fins.
- Temps de calcul court, compatible avec les équipements informatiques de bureaux d'étude sur l'ensemble du territoire nationale (quelques dizaines de secondes)

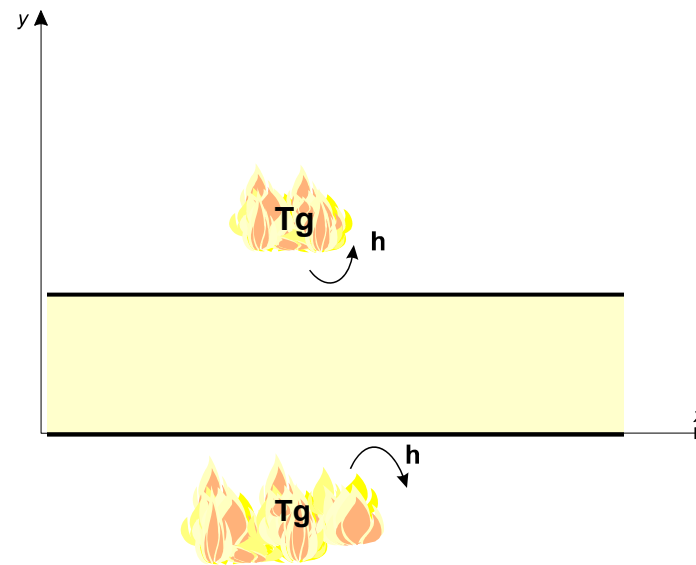
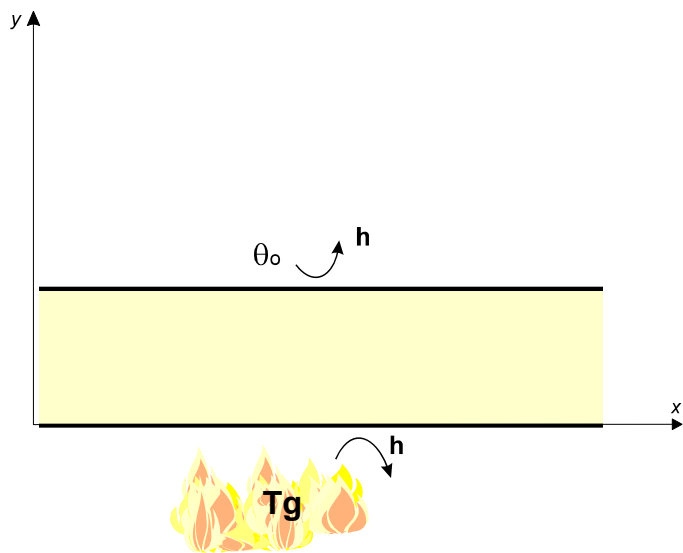
## Documents de référence

- NF EN 1992-1-1 ; octobre 2005 ; P 18-711-1
- NF P 18-711-1/NA ; Annexe Nationale à la NF EN 1992-1-1
- NF EN 1992-1-2 ; octobre 2005 ; P 18-712-1
- Pr NF EN 1992-1-2/NA ; Annexe Nationale à la NF EN 1992-1-2 :2005
- NF EN 1991-1-2 ; juillet 2003 ; P 06-112-1
- NF P 18-711-1/NA ; Règles générales et règles pour les bâtiments

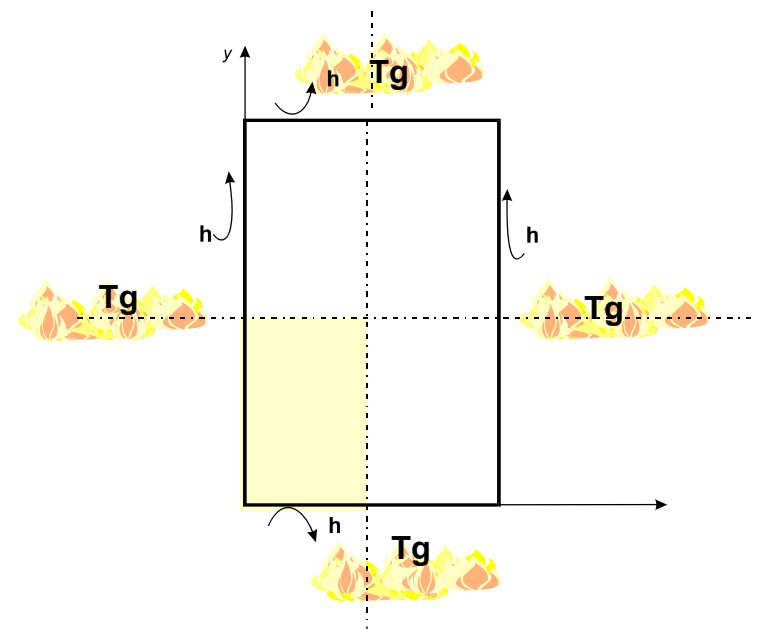
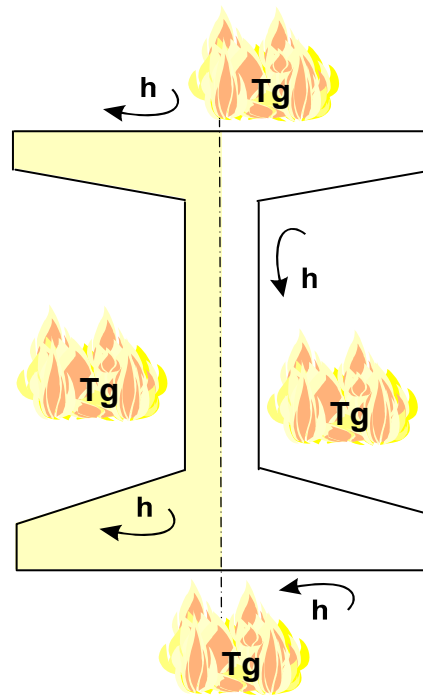
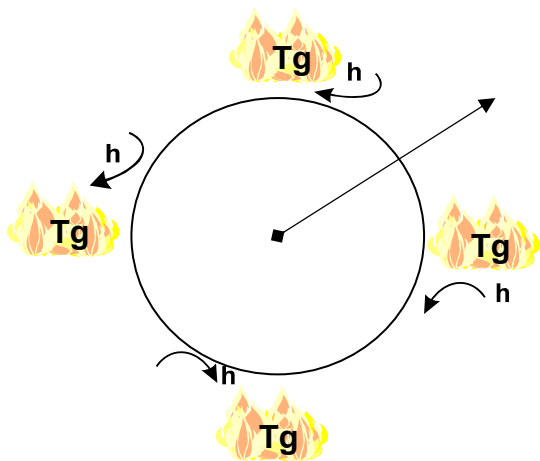
## 8 sections retenues

- Dalle chauffée sur une seule face,
- Mur chauffé sur une ou deux faces,
- Poteau circulaire chauffé sur tout le périmètre,
- Poteau carré ou rectangulaire chauffé sur les 4 faces,
- Poutre rectangulaire chauffée sur les 4 faces,
- Poutre rectangulaire surmontée d'une table (chauffée 3 faces),
- Poutre en I chauffée sur toutes les faces,
- Poutre I surmontée d'une table (chauffée 3 faces)

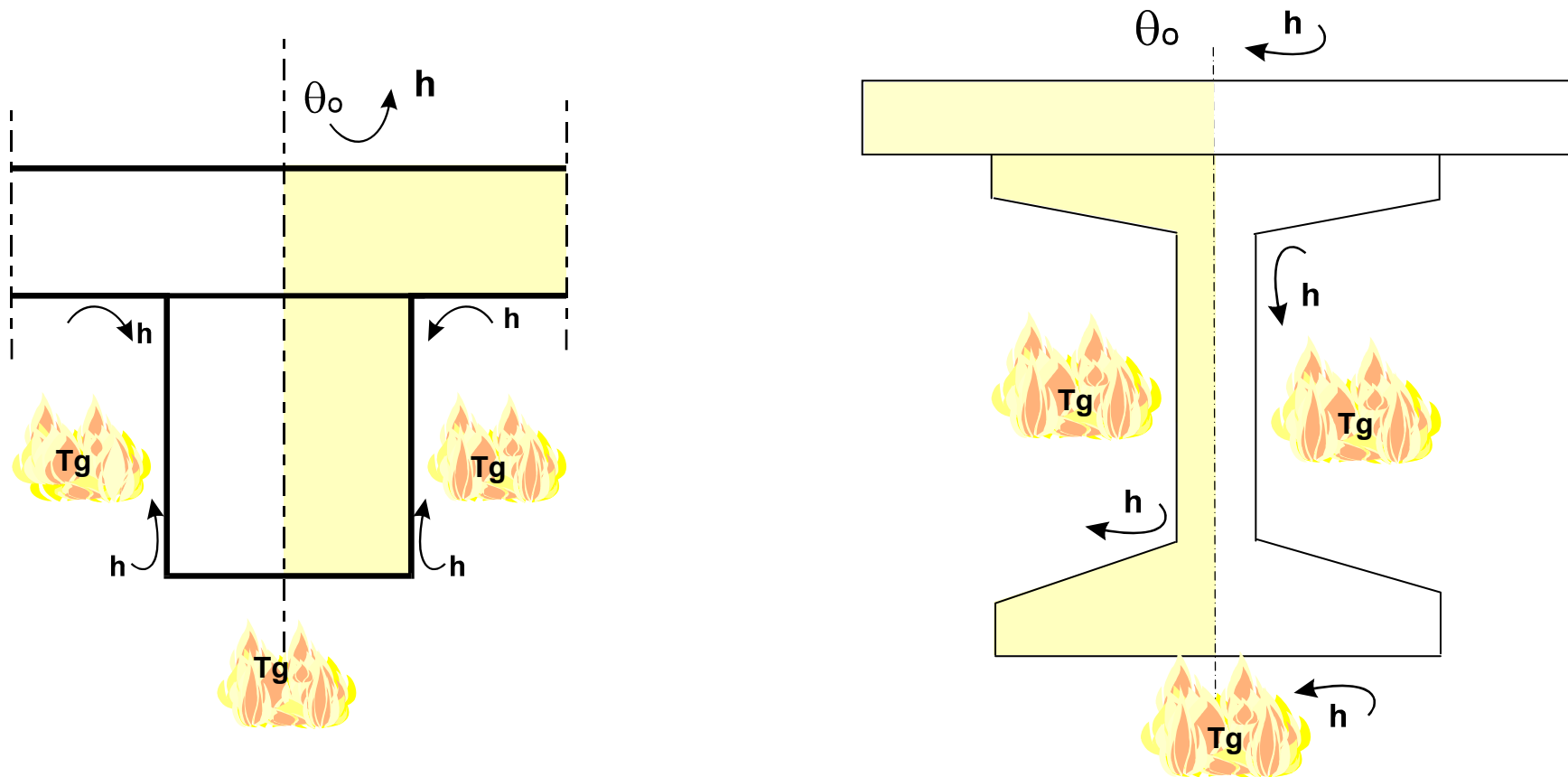
Dalle chauffée une face, mur chauffé une ou deux faces



Poteau circulaire, poteau rectangulaire, poutre I chauffés 4 faces ou poutre rectangulaire chauffée 4 faces



Poutre rectangulaire ou poutre I surmontée d'une table,



## Dimensions minimales et maximales des sections

- Mur, dalle ou table de compression :  $e_{\min} = 8 \text{ cm}$  ;  $e_{\max} = 40 \text{ cm}$
- Poutre ou poteau rectangulaire :  $a_{\min} = 8 \text{ cm}$  ;  $a_{\max} = 120 \text{ cm}$
- poteau circulaire :  $d_{\min} = 8 \text{ cm}$  ;  $d_{\max} = 120 \text{ cm}$
- poutre I :
  - Hauteur totale maximale = 120 cm
  - Hauteur totale minimale = 40 cm (5 + 1 + 28 + 1 + 5)
  - Epaisseur minimale de l'âme = 5 cm
  - Largeur minimale de la semelle = 15 cm
  - Largeur maximale de la semelle = 90 cm
  - Hauteur minimale du talon (hors dièdre) = 5 cm
  - Hauteur minimale du dièdre = 1 cm
  - Hauteur minimale de l'âme = 28 cm



## Caractéristiques thermophysiques du béton

- **Conductivité thermique** : Elle varie avec la température. Elle suit l'évolution fournie dans le document Pr NF EN 1992-1-2/NA (avt projet soumis à enquête jusqu'au 5 nov 2006). Elle est exprimée en W/m/K.
- **Masse volumique** : Elle varie avec la température. Elle suit l'évolution fournie dans le document : NF EN 1992-1-2 d'octobre 2005 - §3.3.2. Elle est exprimée en kg/m<sup>3</sup>.
- **Chaleur spécifique** : Elle varie avec la température et la fraction massique d'eau. Elle suit l'évolution fournie dans le document : NF EN 1992-1-2 d'octobre 2005 - §3.3.2. Elle est exprimée en J/kg/K.  
La teneur en eau reçoit trois valeurs : 0%, 1,5% ou 3%.

## Action thermique

- **Courbe température/temps normalisée :**

$$\Theta_g = 20 + 345 \times \log_{10}(8t + 1)$$

- **Courbe de feu extérieur :**

$$\Theta_g = 20 + 660 \times (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t})$$

- **Courbe hydrocarbure :**

$$\Theta_g = 20 + 1080 \times (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t})$$

## Durée de l'action thermique

- 1/2 heure
- 1 heure
- 1 heure 30 minutes
- 2 heures
- 2 heures 30 minutes
- 3 heures
- 4 heures

## Les grandes lignes du modèles

- **Condition initiale** : la température de l'air et du solide a reçu la valeur 20°C.
- **Conditions aux frontières** :
  - ✚ **Face exposée** : le flux de chaleur entrant par une face exposée est la somme d'une composante convective et d'une composante radiative.
    - densité de flux entrant par convection :  $= h (T_{ex} - T_s)$  ;
    - densité de flux entrant par rayonnement :  $= \varepsilon \sigma (T_g^4 - T_s^4)$  où  $\varepsilon$  est ici un coefficient d'échange radiatif homogène à une émissivité, qui reçoit une valeur fonction de l'émissivité de la paroi.  
 $h=25 \text{ W/m}^2/\text{K}$  pour la loi ISO et feu extérieur et  $h=50 \text{ W/m}^2/\text{K}$  pour la loi hydrocarbure.  $\varepsilon=0,7$
  - **Face non-exposée** : Les mêmes relations que pour la face exposée sont utilisées. Le flux de chaleur entrant par une face non exposée est la somme d'une composante convective et d'une composante radiative.
    - densité de flux entrant par convection :  $= h (T_{air} - T_s)$  ;
    - densité de flux entrant par rayonnement :  $= \varepsilon \sigma (T_{air}^4 - T_s^4)$   
 $h=4 \text{ W/m}^2/\text{K}$  et  $\varepsilon=0,7$

## Programmation

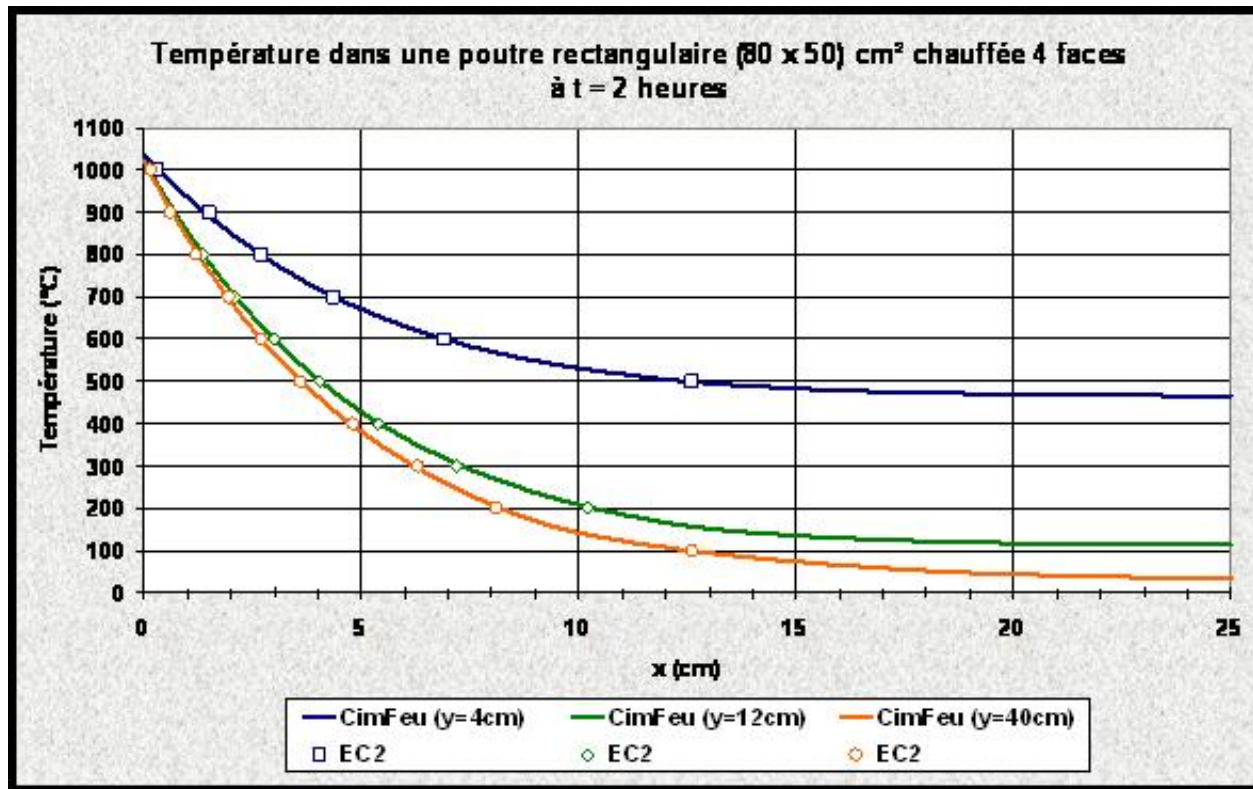
- Langage : FORTRAN :
- Résolution de l'équation de diffusion :
  - Différences finies
  - Méthode des directions alternées

## Validation du programme

- Comparaison à des :
  - Résultats de l'EC2
  - Résultats de programmes plus fins et éprouvés (TASEF, MARC)

## Exemples de résultats

- Poutre rectangulaire chauffée 4 faces.  
Résultats de la figure A.15 de l'EC2 - Guide « distributions de température » :



## Exemples de résultats

- Poteau circulaire chauffé sur tout le périmètre.  
Résultats des figures A.21 à A.24 de l'EC2 - Guide « distributions de température »

