

Sécurité contre l'incendie dans les bâtiments – Prévention Passive

Jean-Marc Franssen

Cette présentation constitue

1. la partie "*incendie*" du cours "**Conception de bâtiments en situation de risque majeur**" et
2. l'introduction de la partie "*incendie*" plus complète du cours "**Sollicitations accidentelles et exceptionnelles**"

Cette présentation est basée sur une présentation réalisée par Dr ir Aloïs Bruls, directeur technique de ISIB ASBL

1

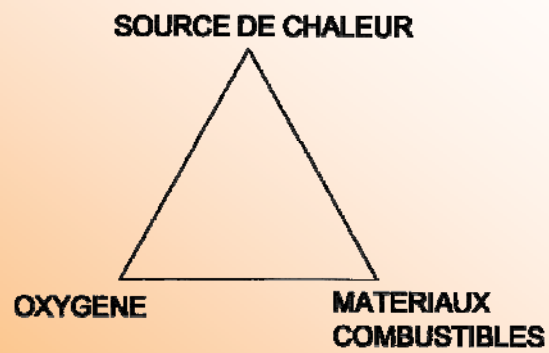
Sécurité contre l'incendie dans les bâtiments – Prévention Passive

1. Notions générales
2. Réglementation
3. Réaction au feu
4. Résistance au feu - essais
5. Propriétés des matériaux soumis à un incendie
6. Résistance au feu des structures portantes
7. Résistance au feu des parois
8. Résistance au feu des installations techniques

2

1. Notions générales

3



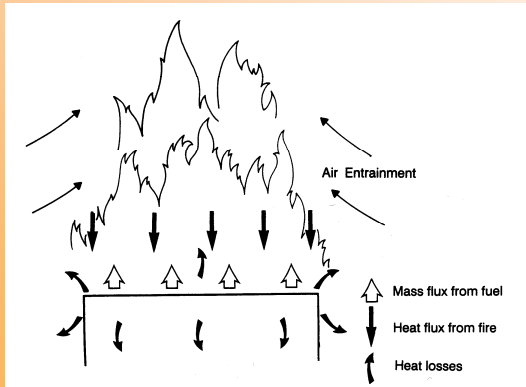
Le triangle du feu

4

Combustion de solides (ex. Le bois).

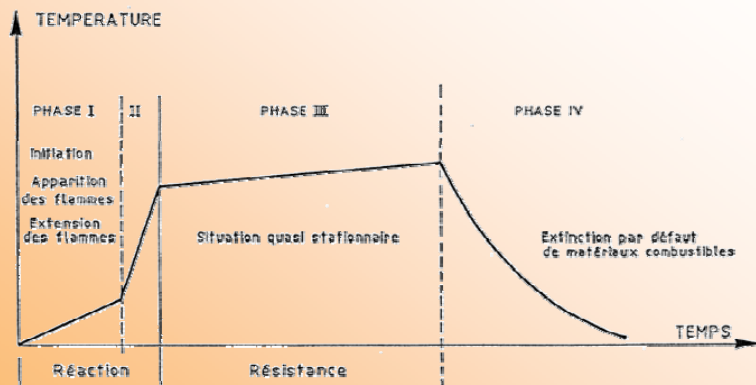
Deux phénomènes distincts:

- 1) La pyrolyse: transformation chimique au sein du solide conduisant au dégagement de gaz combustible.
- 2) La combustion: réaction chimique entre ces gaz de combustion et l'oxygène de l'air => chaleur + lumière.



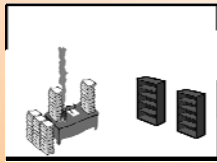
Schematic representation of a burning surface (Drysdale, 1999)

5

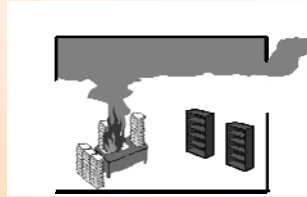


Développement schématique d'un incendie

6



Ignition



Rising phase/ Localised fire

(*)



Fully developed fire

(*) Flashover: sudden ignition of all burning material in the compartment caused by the radiation heat from the hot zone.

7

La prévention incendie porte sur de nombreux aspects.

- ✓ Choix de matériaux adéquats
- ✓ Détection précoce
- ✓ Alarme précoce
- ✓ Extinction automatique (sprinklers)
- ✓ Moyens de lutte immédiate (extincteurs, lances), y compris formation
- ✓ Extraction de fumée.
- ✓ Entraînement à l'évacuation, indication des voies d'évacuation,...
- ✓ Limitations de la propagation (choix des matériaux, compartimentage, distance entre bâtiments)
- ✓ Résistance au feu de la structure

8

2. Réglementation

9

Normes de bases en matière de prévention contre l'incendie et les explosions: LOI fixant les exigences minimales pour un bâtiment neuf, suivant que celui-ci est bas, moyen ou élevé.
L'Annexe 6 concerne les bâtiments industriels. Les exigences dépendent du type d'activité et de la surface au sol.

Si impossibilité technique pour appliquer les Normes de Base, **Commission de Dérogation** du SPF Intérieur.

Les régions ont fixé des exigences particulières pour certains types de bâtiments (ex.: les hôtels en région wallonne).

Si le bâtiment abrite des travailleurs, il faut compter avec **le RGPT**.

Le bourgmestre de chaque commune, responsable de la sécurité, peut imposer des exigences plus élevées (il s'aide des services de prévention du service d'incendie compétent).

On peut prouver la résistance au feu,

1. soit par un essai suivant norme (NBN 713-020)
2. soit par une méthode de calcul approuvée par le Ministre de l'Intérieur.

A ce jour (octobre 2010), il n'y a pas de méthode de calcul approuvée.

Il semble qu'on se dirige vers la situation suivante:

Méthode reconnue = Eurocodes

- Si méthode de calcul tabulée: calcul par le responsable de la stabilité à froid.
- Si méthode de calcul simple: soit ingénieur accrédité, soit calcul vérifié par organisme agréé
- Si méthode de calcul générale (E.F.) ou courbe de feu naturel, Commission de Dérogation.

3. Réaction au feu

Concerne **un matériau**

Caractérise

- la propension d'un matériau à s'enflammer,
- la vitesse de propagation des flammes à sa surface,
- la quantité de chaleur produite,
- la quantité de fumée produite.

Notes:

- 1) cette propriété intervient surtout dans la phase initiale de l'incendie
- 2) il ne s'agit pas d'une propriété intrinsèque du matériau; les conditions d'utilisation jouent un rôle.

Paramètres de réaction au feu

- Pouvoir calorifique (\approx propriété intrinsèque du matériau) \leftrightarrow chaleur effective de combustion
- Non combustibilité
- Facilité d'allumage (inflammabilité ou allumabilité)
- Propagation des flammes
- Dégagement calorifique (heat release) ou taux de dégagement calorifique (rate of heat release)
- Taux de combustion / taux de perte de masse
- *Fusibilité*
- Caractéristiques de fumées de combustion :
 - ◊ Opacité (densité)
 - ◊ Toxicité
 - ◊ Corrosivité
 - ◊ Absence d'halogène
- Caractéristiques des autres produits de combustion (e.g. suies) :
 - ◊ Toxicité (chronique)

Maîtrise des propriétés de réaction au feu \rightarrow limiter le risque et/ou les impacts pour les différentes cibles : personnes, structures, environnement

Hervé Breulet

13

Classement belge:

A0: incombustible (ex.: acier, laines de verre et de roche, panneaux en silicate de calcium)

A1: ni persistance ni propagation de flamme après retrait du brûleur

A2

A3: persistance des flammes, sans propagation continue ni chute de goutelles enflammées (ex. : bois)

A4: matériaux qui n'entrent pas dans les catégories précédentes (ex. : bois)

14

<u>Revêtements muraux</u>	
Tissus polyester, stratifié	A1 – A3
Tissus fibres de verre	A0 – A1
PVC	A1 – A2
Tissus de laine	A2 – A3
Toile coton (FR)	A1
Formica	A3
<u>Matériaux isolants</u>	
Fibres minérales	A0 – A1
Mousse PUR	A2 – A4
Mousse PIR	A1 – A2
PS expansé	A1 – A4
Panneaux de particules	A1 – A3
Mousse phénolique	A1
Peinture	A1 (FR), A2 – A4
<u>Sols</u>	
Bois	A1 (FR), A2 – A4
Linoleum	A2
Moquette laine, moquette PA, dalles en caoutchouc, viniye	A3
Moquette PP	A3 – A4

FR: fire retardant

15

Normes de base : exigences

	Revêtement de sol	Revêtement de paroi verticale	Plafonds et faux-plafonds
Locaux et espaces techniques Parkings Cuisines collectives Salles de machine Gaines d'ascenseurs et monte-charge...	A0	A0	A0
Cages d'escaliers intérieures (y compris sas et paliers) Chemins d'évacuation Paliers d'ascenseurs Cuisine particulières (sauf BB)	A2	A1	A1
Cabines d'ascenseurs et monte-charge	A3	A2	A2
Salles	A3	A2	A1
Autres locaux Dans les BE Dans le BM Dans les BB	A3 A4 A4	A3 A4 A4	A2 A2 A2

Hervé Breulet
2009.09

16

Toitures : exigences (normes de base)

Le matériau superficiel de couverture doit être A1 (AR 19/12/1997)

A.R. 04/04/2003 :

1. Le matériau superficiel de couverture doit être A1

OU

2. Appartient à la liste des matériaux ne nécessitant pas d'être essayés (décision 2000/553/CE), ardoises, tuiles, fibro-ciment, feuilles et tôles métalliques d'épaisseur ≥ 0.4 mm, recouvrement par gravier, chape de mortier, pierre reconstituée,...

OU

3. L'ensemble de la couverture de toiture doit répondre aux exigences B_{ROOF} (t1) selon PrEN 1187-1 (ENV 1187-1).

Hervé Breulet

17

2009-09

Câbles électriques : généralités

Importance de la tenue au feu des câbles électriques




- Présence simultanée des 3 éléments du triangle du feu
- Charge calorifique élevée (e.g. chemin de câbles avec plusieurs kg de matière combustible par mètre (et certaines matières ont une chaleur de combustion de @ 40 MJ/Kg)
- Modes d'installation des câbles électriques → chemin de propagation privilégié, e.g. d'un niveau à l'autre, traversée de paroi,...
- Utilisation croissante de l'énergie électrique, explosion des technologies de l'information (PC, terminaux, data systems, intranet et internet) → quantités de câbles de plus en plus élevées

Hervé Breulet

18

2009-09

Euroclasses : Principes (2)

Niveau d'exposition	Description	Puissance	Euroclasse	Performance (produit)
 élevé	Feu développé dans une pièce	60 - 80 kW/m ²	A1	Aucune contribution à l'incendie
			A2	très faible contribution à l'incendie
 moyen	Objet isolé en feu dans un pièce (e.g. siège, poubelle)	Max. 40 kW/m ²	B	faible contribution à l'incendie
			C	Contribution à l'incendie limitée
 bas	Attaque par une petite flamme sur un surface limitée du produit	petite flamme (e.g. allumette)	D	Réaction au feu acceptable
			E	Pas d'exigence

2009.09 Hervé
Broulet

19

Paramètres inclus dans les Euroclasses

1. Classement « principal »
 - Non combustibilité
 - **Pouvoir calorifique**
 - Propagation de flamme (LFS : Lateral Flame Spread)
 - **Taux de dégagement d'énergie (RHR : Rate of Heat Release)**
2. Classements additionnels
 - **Taux de production de fumée**
 - Chute de gouttes enflammées

20

40 euroclasses !

Soit 40 Euroclasses :

Valable pour les produits de construction, à l'exception des revêtements de sols, des toitures, des câbles électriques, des produits linéaires et des façades.

A1
A2-s1, d0 *A2-s1, d1* *A2-s1, d2*
A2-s2, d0 *A2-s2, d1* *A2-s2, d2*
A2-s3, d0 *A2-s3, d1* *A2-s3, d2*
B-s1, d0 *B-s1, d1* *B-s1, d2*
B-s2, d0 *B-s2, d1* *B-s2, d2*
B-s3, d0 *B-s3, d1* *B-s3, d2*
C-s1, d0 *C-s1, d1* *C-s1, d2*
C-s2, d0 *C-s2, d1* *C-s2, d2*
C-s3, d0 *C-s3, d1* *C-s3, d2*
D-s1, d0 *D-s1, d1* *D-s1, d2*
D-s2, d0 *D-s2, d1* *D-s2, d2*
D-s3, d0 *D-s3, d1* *D-s3, d2*
E
E-d2
F

21

2009.09 Hervé
Broulet

4. Résistance au feu - Essais

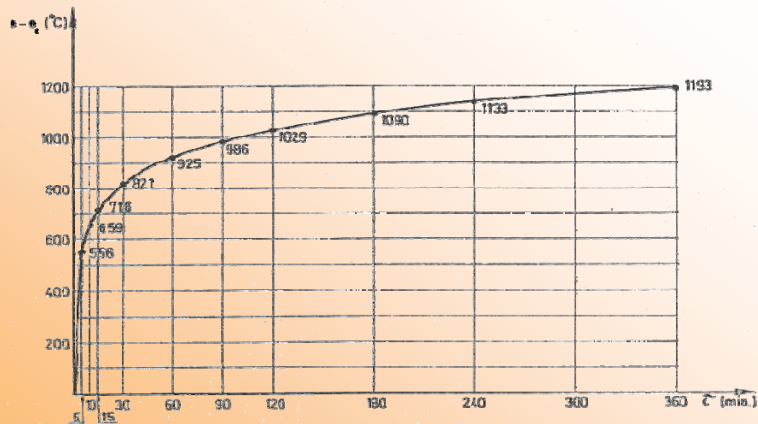
Définition: temps pendant lequel un élément de construction soumis à l'incendie normalisé continue à remplir sa fonction.

Deux types de fonction:

1. Fonction portante (colonne, poutre, escalier)
2. Fonction séparante (porte, clapet, mur non porteur)

Certains éléments assurent les deux fonctions: dalle, mur porteur coupe feu.

22



courbe d'incendie normalisé: ISO 834

23

Trois critères appliqués lors des essais de résistance au feu:

- R: Stabilité
- E: Etanchéité aux flammes
- I: Isolation thermique

R: appliqué aux éléments porteurs

- Perte de stabilité (tous)
- Flèche ou vitesse de déformation (poutres)
- Déformation verticale (colonnes, murs)

E: appliqué aux éléments séparants

- Pas de passage de flammes (nappe de coton)
- pas de fente permettant d'y introduire un calibre

I: appliqué aux éléments séparants. Mesure des températures sur la face non exposée

- $\Delta T_{max} \leq 180^{\circ}C$
- $\Delta T_{moyen} \leq 140^{\circ}C$

24

Fours



Essai de résistance au feu sur cloison vitrée



26



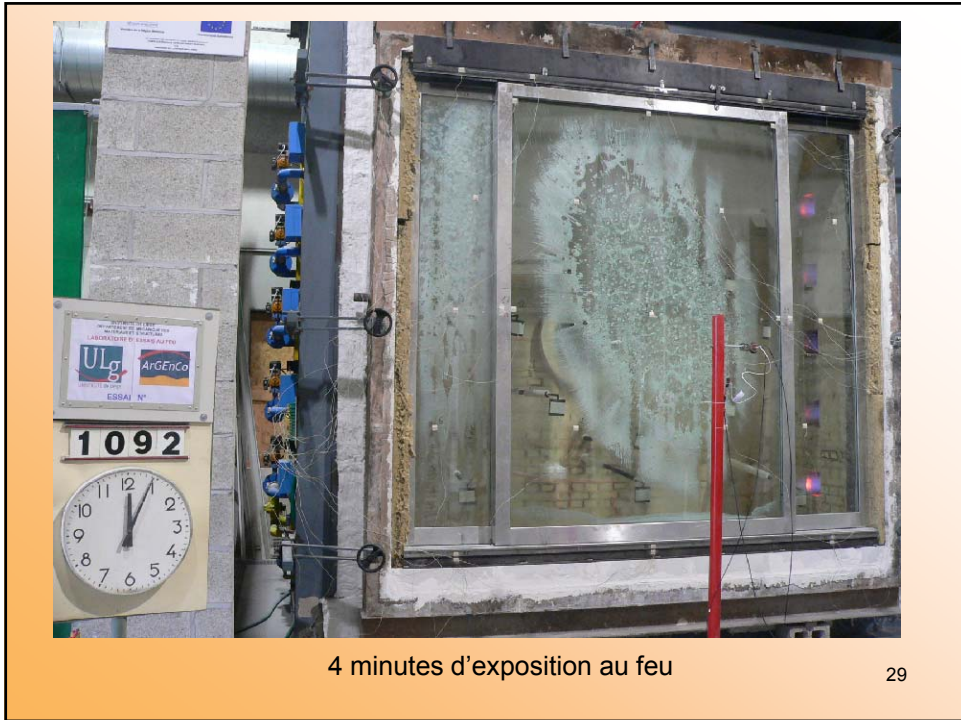
1 minute d'exposition au feu

27



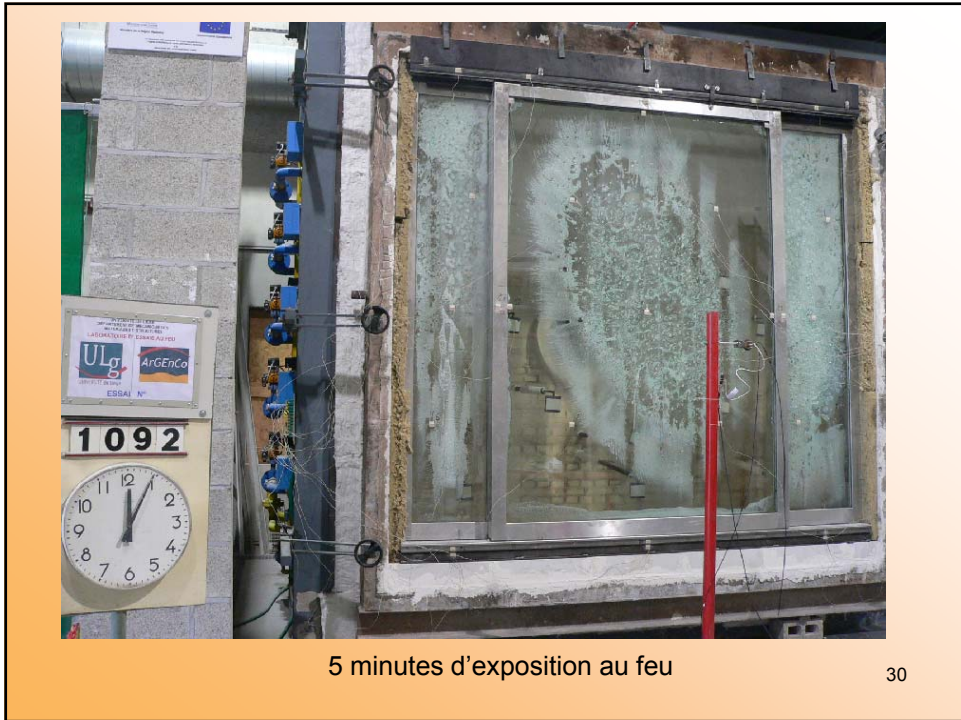
3 minutes d'exposition au feu

28



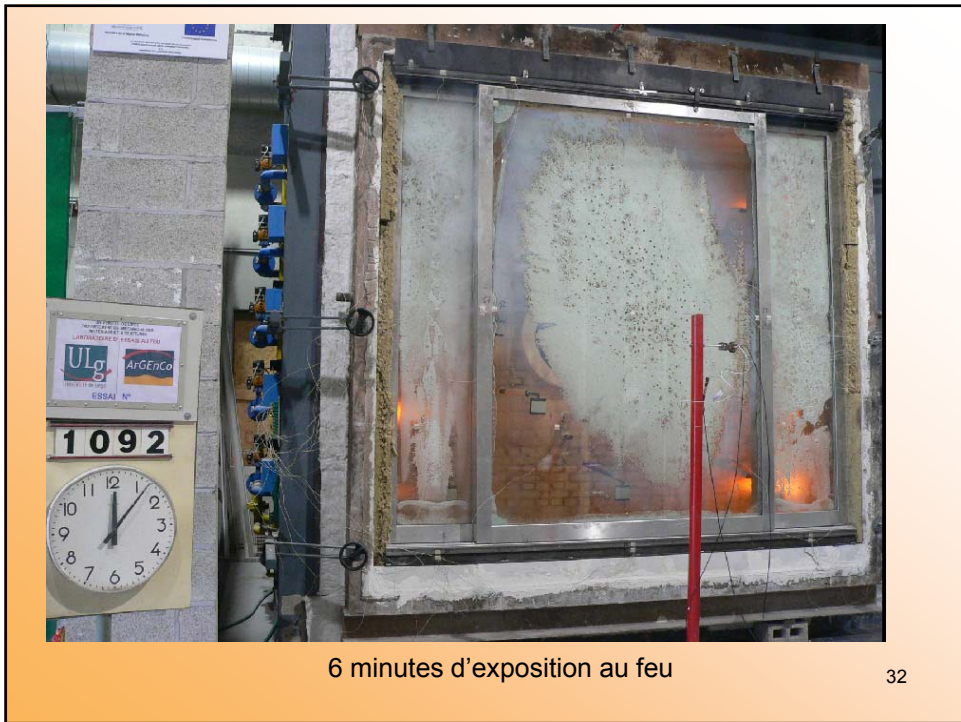
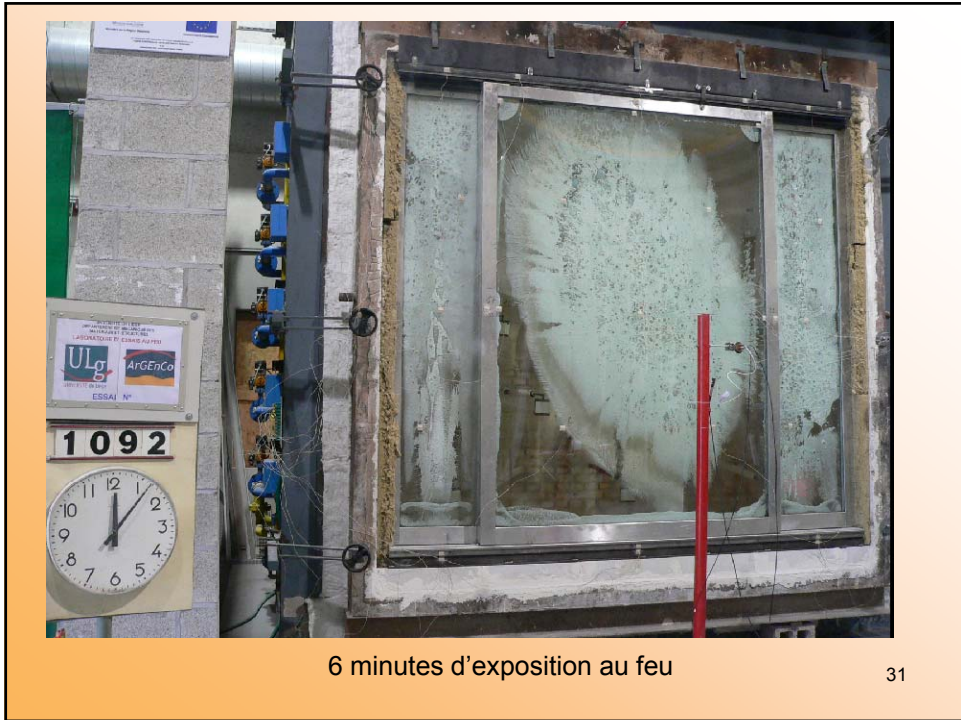
4 minutes d'exposition au feu

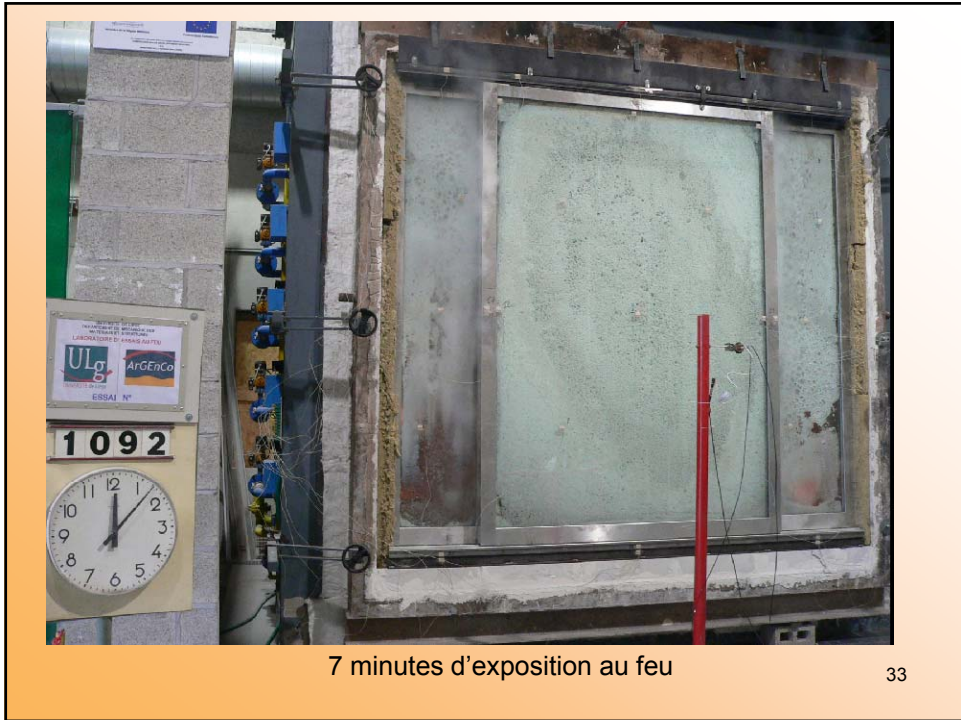
29



5 minutes d'exposition au feu

30







Passage de flammes continu

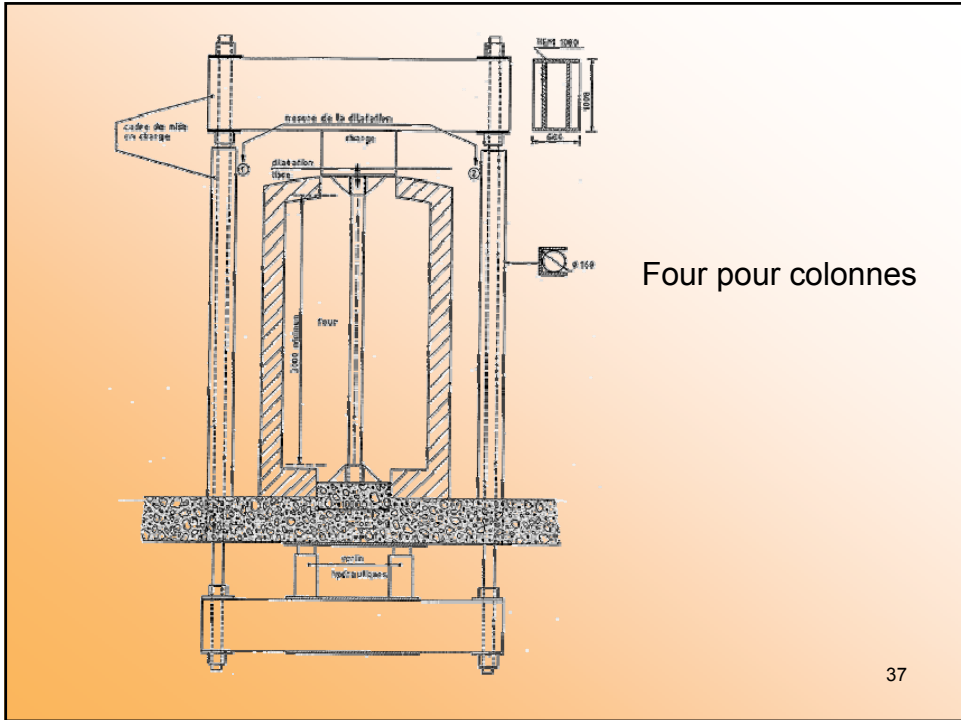
30 minutes d'exposition au feu

35

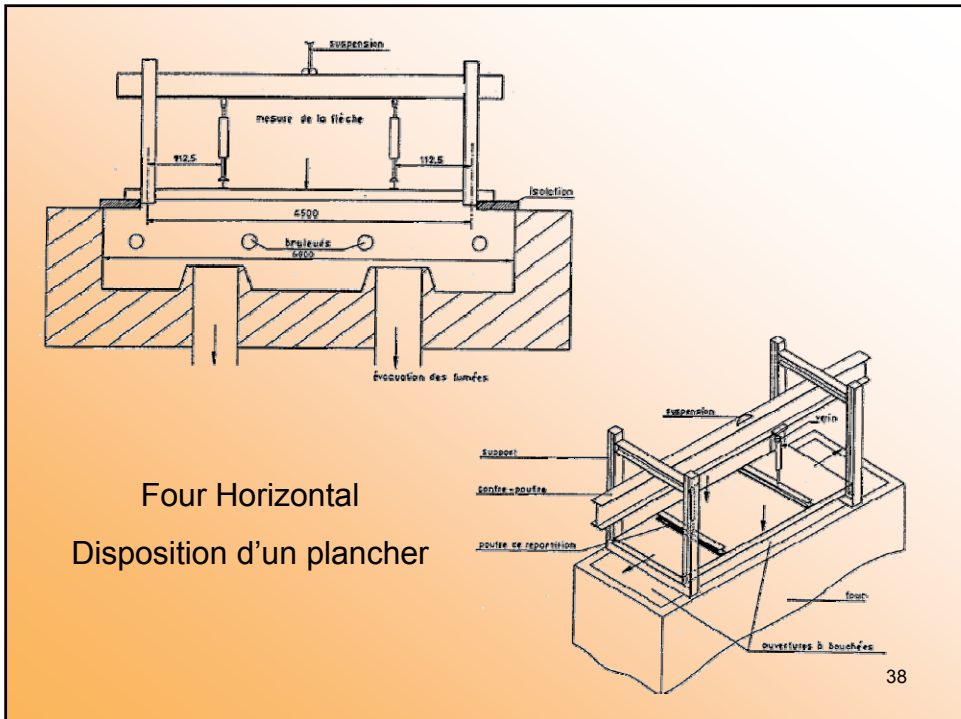


60 minutes d'exposition au feu

36



37



38

Norme d'essais belge (une seule norme): NBN 713.020

Normes CEN (des dizaines de normes)

- **Conditions Générales**

EN 1363-1 Exigences générales

EN 1363-2 Modes opérations de substitution ou additionnels

ENV 1363-3 Vérification des performances des fours

- **Éléments non porteurs**

EN 1364-1 Murs / Cloisons

EN 1364-2 Plafonds

EN 1364-3 Faux plafonds autoportants

EN 1364-4 Murs rideaux

39

Normes en préparation dans le comité technique 127 du CEN

- **Eléments porteurs**

EN 1365-1 Murs

EN 1365-2 Planchers et toitures

EN 1365-3 Poutres

EN 1365-4 Poteaux

40

Normes en préparation dans le comité technique 127 du CEN

- **Installations techniques**

- EN 1366-1 Conduits
- EN 1366-2 Clapets résistant au feu
- EN 1366-3 Calfeutrements
- EN 1366-4 Joints
- EN 1366-5 Gaines pour équipement
- EN 1366-6 Planchers surélevés
- EN 1366-7 Fermetures des convoyeurs
- EN 1366-8 Gaines d'extraction de fumée

41

Normes en préparation dans le comité technique 127 du CEN

- **Portes**

- EN 1634-1 Portes et fermetures résistant au feu
- EN 1634-2 Équipement des portes résistant au feu
- EN 1634-3 Portes avec contrôle de fumée

- **Protection au feu des structures résistant au feu**

- EN 13381-1 Écran horizontal (faux plafonds)
- EN 13381-2 Écran verticaux (cloisons de fermeture)
- EN 13381-3 Protection d'éléments en béton
- EN 13381-4 Protection d'éléments en acier
- EN 13381-5 Protection des planchers mixtes acier-béton
- EN 13381-6 Colonnes tubulaires en acier remplie de béton
- EN 13381-7 Protection d'éléments en bois

42

Normes en préparation dans le comité technique 127 du CEN

- **Classement - Essais de résistance au feu**

prEN 13501-2 Généralités (sauf désenfumage et certains équipements)

prEN 13501-3 Pour certains équipements

prEN 13501-4 Pour systèmes de contrôle des fumées

43

5. Propriétés des matériaux soumis à l'incendie.

44

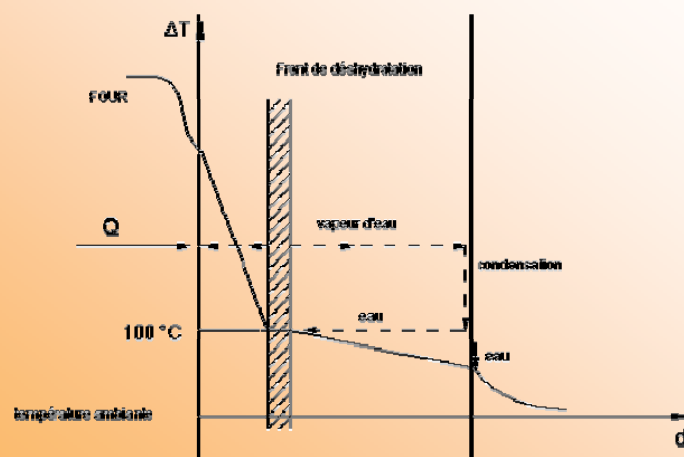
Tableau 5.1 - Caractéristiques de quelques matériaux

	ρ	R rupture	t^*	α	λ	c	a
	kg/m ³	N/mm ²	fusion	10 ⁻⁶ /°C	W/m°C	KJ/kg°C	m ² /s x 10 ⁻⁶
Acier	7850	370 - 1800	>1500	12 à 17	50 à 60	0,46	16
Acier inoxydable	8000	370 - 600	>1400		14 à 16	0,47	3,6 à 4
Aluminium (alliages)	2560		656		150 à 180	0,68	73
Cuivre (alliages)	8750		1100		60 à 100	0,36	16 à 32
Béton ordinaire	2400	30 - 60	-	12 à 18	1 à 2	1	0,4 à 0,8
Béton cellulaire	600 - 800	2 - 6	-	14	0,19	0,84	0,3
Bois	400 - 1000	30 - 60	300*	5 - 5	0,12 à 0,16	1,2	0,1
Terres cuites	1000 à 1800	10 - 50	-	5 - 7	0,4 à 0,6	0,84	0,3
Plâtre massif	1600 à 1800	-	-	10 - 12	0,5 à 0,8	0,84	0,4
Plâtre (plaques)	800 à 1000	-	-	-	0,17	0,6	0,24
Laine de verre	10 - 200	-	600	-	0,03 - 0,04	0,6	0,2 - 6
Laine de roche	10 - 200	-	1200	-	0,03 - 0,04	0,6	0,2 - 5
Panneaux inertes	400 - 1000	-	-	-	-	-	-
Verre	2500	30 - 50	1500	8	1,4	0,75	0,75

* Température de combustion/carbonisation

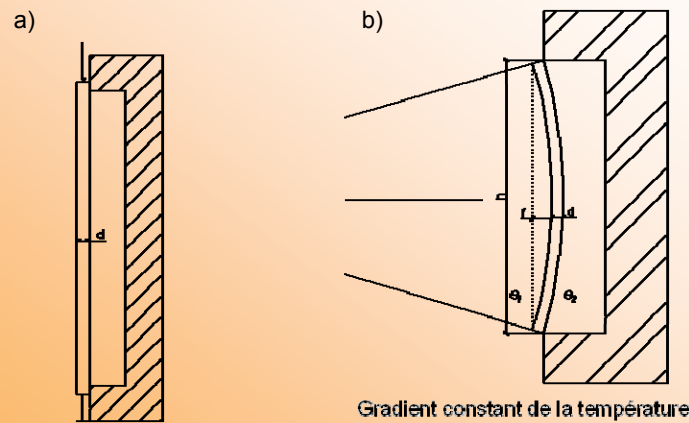
45

Température dans une paroi en béton exposée au feu



46

Conséquence de la dilatation thermique – Déformation d'une paroi



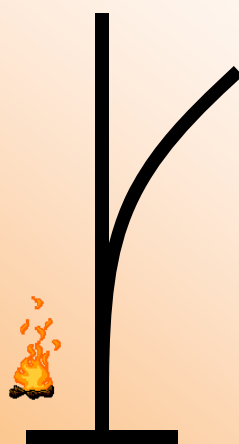
Gradient constant de la température

$$f = \frac{\alpha h^2 (\theta_1 - \theta_2)}{8 d}$$

α = coefficient de dilatation

47

Conséquence de la dilatation thermique – Déformation d'une paroi



Mur encastré libre

48

Conséquence de la dilatation thermique– Sollicitation des dalles

Sollicitation	Dalle isostatique	Dalle continue
Déformation thermique		
Moment sous charge extérieure uniformément répartie		
Moment thermique		
Moment total		

49

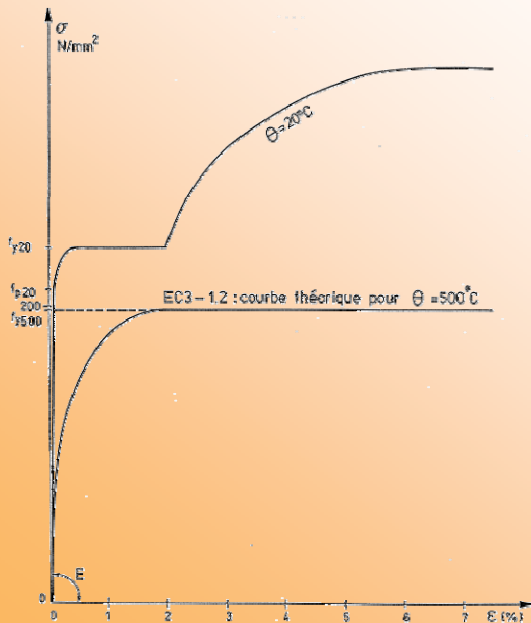


Diagramme contrainte –
déformation: acier doux
(ENV 1993-1-2)

Le diagramme n'est plus
élasto-plastique à
température élevée (mais
on fait comme si dans les
méthodes simples).

50

Facteur de réduction pour l'acier de charpente suivant l'EN 1993-1-2

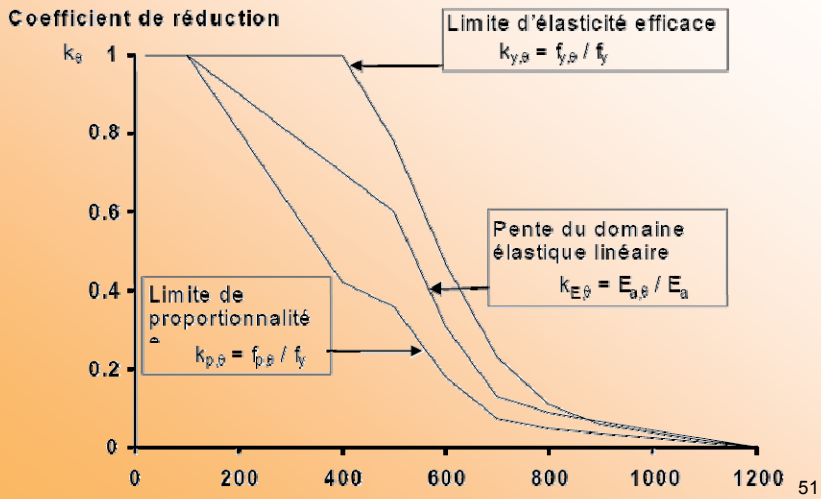
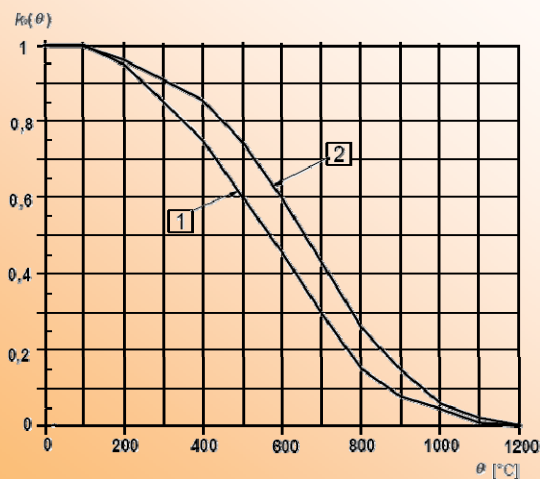


Figure 4.1 – facteur $K_c(\theta)$ applicable pour la diminution de la résistance caractéristique (f_{ck}) du béton $K_c(\theta)$ selon l'EN 1992-1-2



Courbe 1: Béton de densité normale réalisé avec des granulats siliceux
 Courbe 2: Béton de densité normale réalisé avec des granulats calcaires

6. Calcul de la résistance au feu des éléments en béton

53

Comme l'incendie est une charge accidentelle, on utilise:

- ✓ des combinaisons de charges accidentelles,
- ✓ des coefficients partiels de sécurité sur les matériaux propres à cette sollicitation (souvent $\gamma_{m,fi} = 1.00$)

Ces deux modifications, plus le fait qu'une structure peut être dimensionnée à froid pour des états limites de services, plus le fait qu'on peut avoir choisi, par exemple, un profilé ou une section d'armature supérieure à ce qui était strictement nécessaire, fait qu'il existe une réserve et que la structure peut subir un certain échauffement (donc une perte de résistance) avant de s'effondrer.

54

Combinaison de charge en cas d'incendie (en Belgique)

Soit $E_{d,fi} = g_k + \psi_{2,i} q_{k,i}$

Soit $E_{d,fi} = g_k + \psi_1 \text{vent}_k + \psi_{2,i>1} q_{k,i}$

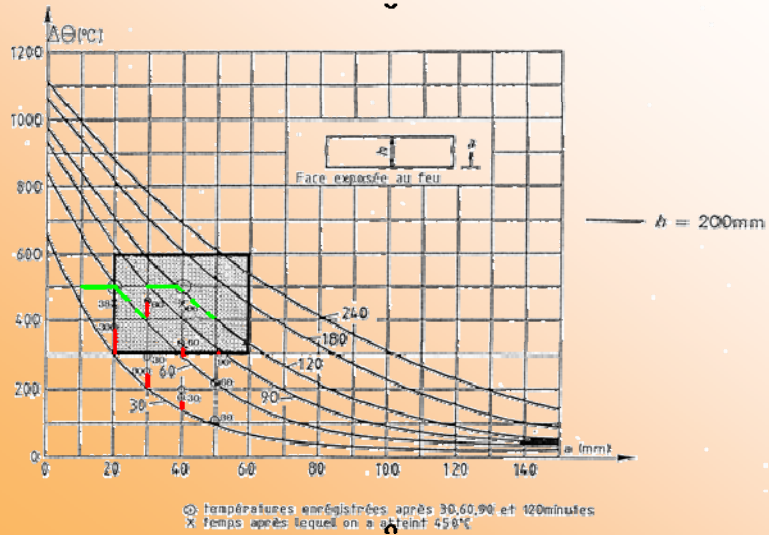
55

Action	Ψ_1	Ψ_2
Imposed load in buildings	0.5	0.3
category A: domestic, residential	0.5	0.3
category B: offices	0.7	0.6
category C: congregation areas	0.7	0.6
category D: shopping	0.9	0.8
category E: storage		
Traffic loads in buildings	0.7	0.6
category F: vehicle weight $\leq 30\text{kN}$	0.5	0.3
category G: $30\text{kN} < \text{vehicle weight} < 160\text{kN}$	0.0	0.0
category H: roofs		
Snow loads	0.2	0.0
for sites located at altitude $H \leq 1000\text{ m}$	0.5	0.2
for sites located at altitude $H > 1000\text{ m}$		
Wind loads	0.2	0.0

Valeurs européennes des facteurs de combinaison

56

Distribution de la température dans une dalle en béton à agrégats siliceux



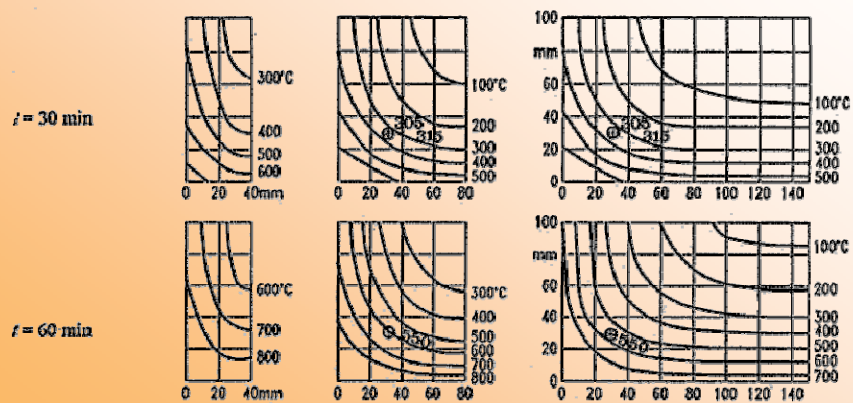
57

Répartition des températures dans les poutres suivant EN 1992-1-2

$b/h = 80/150 \text{ mm}$

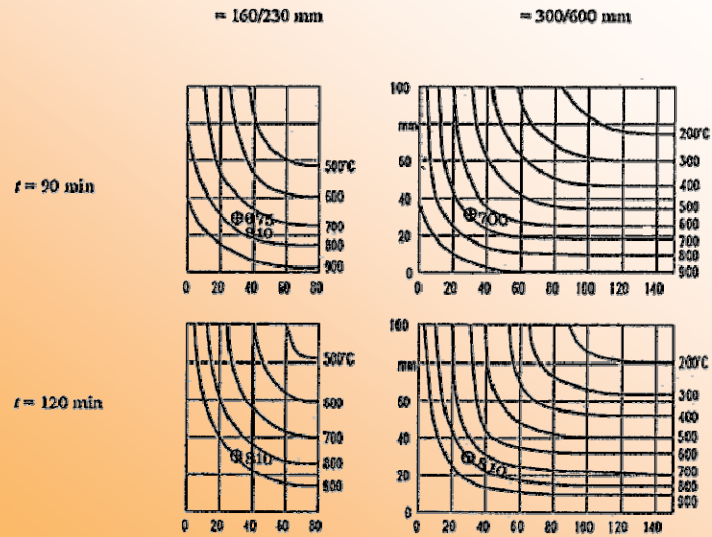
$= 160/230 \text{ mm}$

$= 300/600 \text{ mm}$



58

Répartition des températures dans les poutres suivant EN 1992-1-2



59

Dimensions minimales recommandées des colonnes (mm)

Résistance au feu	Section minimum (mm x mm)	Taux de chargement maximum η_{fi}
R 30	150 x 150	0,5
	200 x 200	0,7
R 60	200 x 200	0,6
	300 x 300	0,7
R 120	300 x 300	0,2
	350 x 350	0,3
	400 x 400	0,6

60

Table 5.2a: Minimum column dimensions and axis distances for columns with rectangular or circular section

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm) Column width b_{min} /axis distance a of the main bars			
	Column exposed on more than one side			Exposed on one side
	$\mu_{fi} = 0.2$	$\mu_{fi} = 0.5$	$\mu_{fi} = 0.7$	$\mu_{fi} = 0.7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70

**

Minimum 8 bars

For prestressed columns the increase of axis distance according to 4.2.2. (4) should be noted.

(4) D'autres valeurs tabulées peuvent être évaluées en utilisant l'équation (5.7) :

$$R = 120 \left((R_{ef} + R_a + R_l + R_b + R_n) / 120 \right)^{1.8} \quad (5.7)$$

où :

$$R_{ef} = 83 \left[1,00 - \mu_{fi} \frac{(1 + \omega)}{(0,85 / \alpha_{cs}) + \omega} \right]$$

$$R_a = 1,00 (a - 30)$$

$$R_l = 0,60 (5 - l_{0,fi})$$

$$R_b = 0,09 b'$$

$$R_n = 0 \quad \text{pour } n = 4 \text{ (armatures d'angle uniquement)}$$

$$= 12 \quad \text{pour } n > 4$$

a est la distance de l'axe des barres d'acier longitudinales au parement (mm) ; $25 \text{ mm} \leq a \leq 60 \text{ mm}$

$l_{0,fi}$ est la longueur efficace du poteau en conditions d'incendie ; $2 \text{ m} \leq l_{0,fi} \leq 6 \text{ m}$

$b' = 2A_c / (b + h)$ pour les sections rectangulaires ou le diamètre pour les sections circulaires

$$200 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm} ; b \leq 1,5 b'$$

ω est le ratio mécanique d'armatures à température normale :

$$\frac{A_s f_{yk}}{A_c f_{ck}}$$

α_{cs} est le facteur de résistance à la compression (voir l'EN 1992-1-1)

Pour l'excentricité du premier ordre en conditions d'incendie, les limites de validité données en 5.3.2 (2) s'appliquent.

Table 5.3: Minimum wall thickness of non load-bearing walls (partitions)

Standard fire resistance	Minimum wall thickness (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

63

Table 5.4: Minimum dimensions and axis distances for load-bearing reinforced concrete walls

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)			
	Wall thickness/axis distance for			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	wall exposed on one side	wall exposed on two sides	wall exposed on one side	wall exposed on two sides
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

Note: For the definition of μ_{fi} see 5.3.2 (3).

64

Table 5.5: Minimum dimensions and axis distances for simply supported beams made with reinforced and prestressed concrete

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)						
	Possible combinations of a and b_{min} where a is the average axis distance and b_{min} is the width of beam				Web thickness b_w		
	2	3	4	5	Class WA	Class WB	Class WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min}= 80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R 60	$b_{min}= 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{min}= 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{min}= 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{min}= 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{min}= 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160
$a_{sid} = a + 10\text{mm}$ (below)		(see note)					
For prestressed beams the increase of axis distance according to 5.2(5) should be noted.							
a_{sid} is the axis distance to the side of beam for the corner bars (or tendon or wire) of beams with only one layer of reinforcement. For values of b_{min} greater than that given in Column 4 no increase of a_{sid} is required.							
* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.							

65

EN 1992-1-2 - Tableau 5.8 – Dimensions et distances minimales à l'axe des armatures à la sous face pour les dalles sur appuis simples sans moment sur appuis à un ou deux sens porteurs en béton armé précontraint

Résistance au feu normalisé	Dimensions minimales (mm)			
	Epaisseur de la dalle h_c (mm)	Distance a de l'axe des armatures à la sous-face		
		un seul sens porteur	deux sens porteurs	
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_x et l_y sont les portées d'une dalle à deux sens porteurs (selon deux directions à angle droit), l_y étant la portée la plus longue.

Il convient de prendre en compte pour les dalles précontraintes, l'augmentation de la distance des axes d'armatures à la sous-face, conformément à 5.2(5).

La distance a des axes des armatures à la sous-face indiquée dans les colonnes 4 et 5 pour les dalles à deux sens porteurs concerne les dalles appuyées sur 4 côtés ; si tel n'est pas le cas, il convient de traiter les dalles comme des dalles à un seul sens porteur.

* L'enrobage exigé par l'EN 1992-1-1 est normalement déterminant.

66

Méthode de calcul simple: isotherme à 500°C

- Déterminer les isothermes dans la section.
- Le béton à une température supérieure à 500°C n'est plus pris en compte.
- Le béton à une température inférieure à 500°C est pris en compte sans réduction de propriété.
- La résistance de chaque armature est réduite en fonction de sa température

67

Résumé.

- La Résistance au feu des éléments en béton armé est généralement assez bonne.
- On peut la déterminer assez facilement par méthode tabulée ou par méthode de calcul simple.
- Pour augmenter R, le plus simple est d'augmenter la section droite et/ou l'enrobage.
- On protège rarement les sections en B.A.
- Attention aux bétons à haute résistance (Eclatements)
- Attention aux hourdis sans armature d'effort tranchant.

68

6.2.2 Structures en acier

6.2.2.1 Résistance des profilés en acier soumis à l'incendie

6.2.2.2 Résistance au feu des structures en acier

69

Tableau 6.9 – massiveté des profilés laminés

Profilé	$F/V \text{ m}^{-1}$	$VF \text{ mm}$
UPN 80	283,6	3,5
UPN 200	205,3	4,9
UPN 300	161,6	6,2
IPE 80	430,6	2,3
IPE 200	253,9	3,9
IPE 300	215,6	4,6
IPE 600	129,6	7,7
HEA 100	265,1	3,8
HEA 200	211,9	4,7
HEA 300	152,9	6,5
HEA 600	102,0	9,8
HEB 100	218,1	4,6
HEB 200	147,2	6,8
HEB 300	116,0	8,6
HEB 600	85,0	11,8
HEM 100	116,4	8,6
HEM 200	91,4	10,9
HEM 300	60,4	16,6
HEM 600	65,2	15,3

70

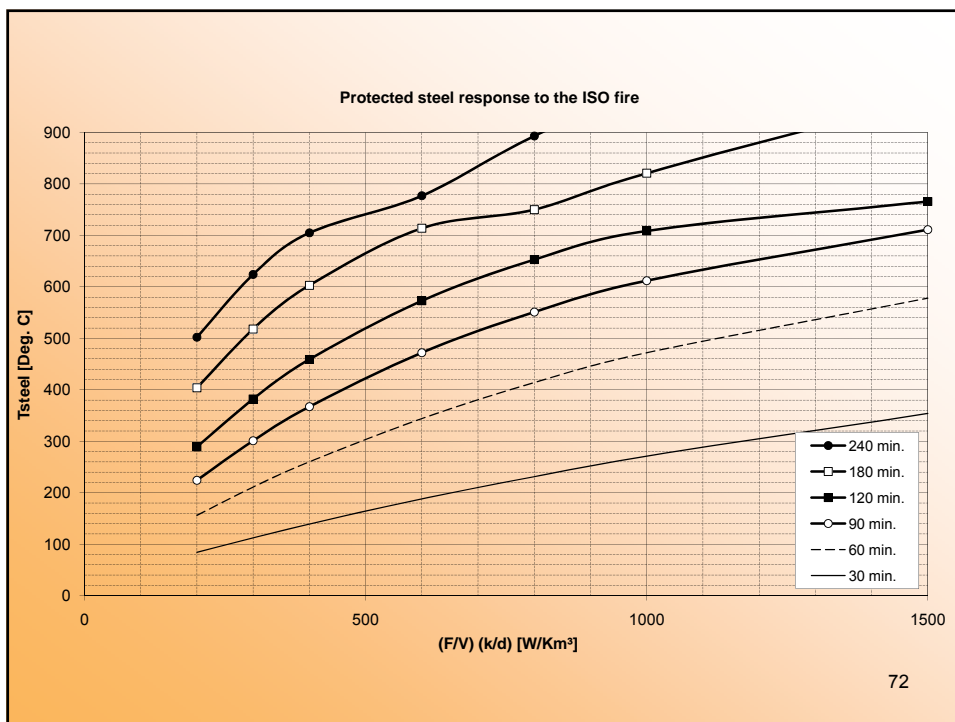
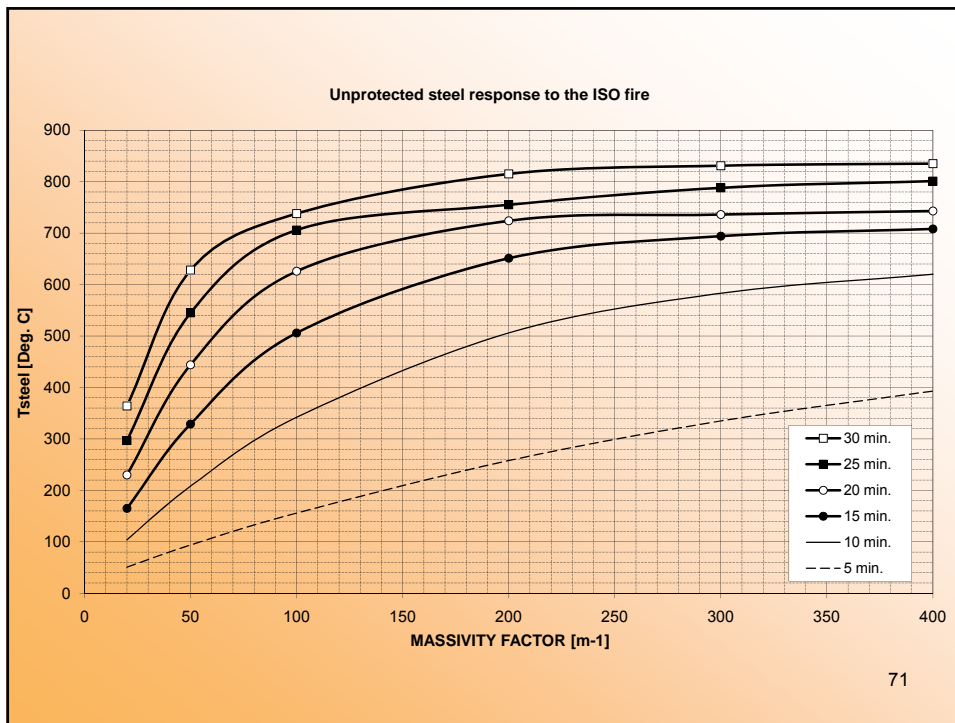


Tableau 3.1 - Facteurs de réduction pour les relations contrainte-déformation de l'acier au carbone aux températures élevées

Température de l'acier θ_a	Facteurs de réduction à la température θ_a par rapport à la valeur de f_y ou E_a à 20 °C		
	Facteur de réduction (par rapport à f_y) pour la limite d'élasticité efficace $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Facteur de réduction (par rapport à f_y) pour la limite de proportionnalité $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Facteur de réduction (par rapport à E_a) pour la pente du domaine élastique linéaire $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

NOTE Pour des valeurs intermédiaires de la température de l'acier, une interpolation linéaire peut être utilisée.

73

Méthode de calcul générale: principe

$$R_{d,fi} = R(f_y(T(t)) > E_{d,fi}$$

Résumé:

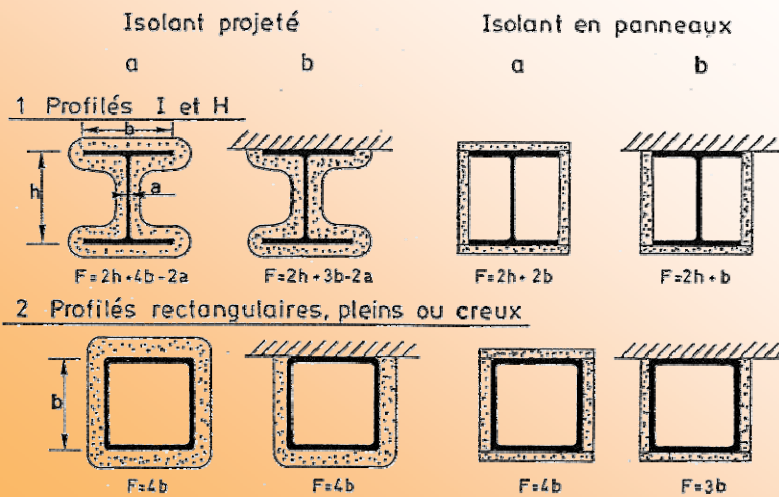
Une structure en acier non protégé présente au maximum une résistance au feu de 30 minutes, ce qui ne peut être obtenu qu'au prix d'un taux de chargement faible, de l'ordre de 10% .

Il est possible de protéger une structure en acier de manière à ralentir son échauffement:

- ✓ par des peintures intumescentes,
- ✓ par des produits projetés (souvent à base de ciment)
- ✓ par des plaques de produits isolants (plâtre, bois, produits spécialisés...)

74

Figure 6.41a – Regroupement des profilés isolés



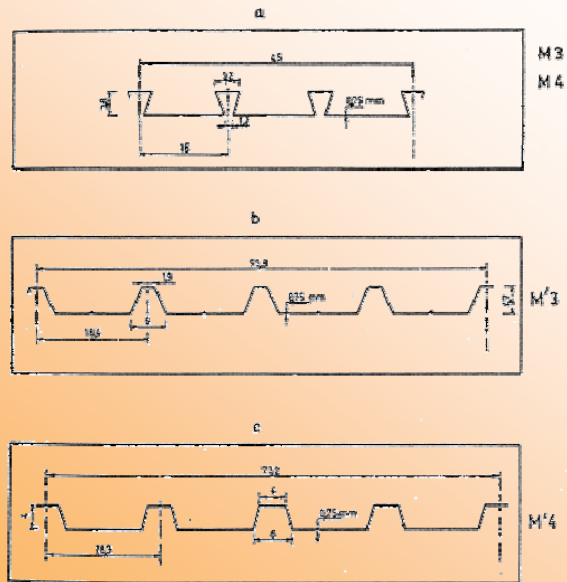
75

6.2.3 Structures mixtes acier-béton

- 6.2.3.1 Introduction
- 6.2.3.2 Dalles mixtes
- 6.2.3.3 Poutrelles en acier avec dalle en béton
- 6.2.3.4 Poutrelles partiellement ou complètement enrobées
- 6.2.3.5 Tubes remplis de béton

76

Figure 6.22 – Tôles pour planchers mixtes



77

Figure 6.23 – Température des barres inférieures

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}}$$

U_1, U_2, U_3 = distance de l'axe des barres à la tôle primant

$U_1, U_2 \geq 50$ mm

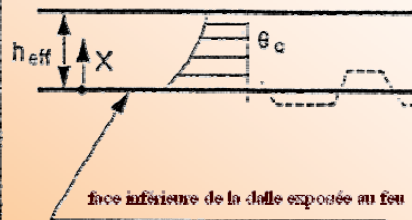
$U_3 \geq 35$ mm



78

Figure 6.24 – Température d'une dalle en béton protégée par une tôle

Dist. X mm	Température θ_c (°C) après une exposition au feu de					
	30'	60'	90'	120'	180'	240'
5	535	705				
10	470	642	738			
15	415	581	681	754		
20	350	525	627	697		
25	300	469	571	642	738	
50	250	421	519	591	689	740
35	210	374	473	542	635	700
40	180	327	428	493	590	670
45		289	387	454	549	645
50	140	250	345	415	508	550
55		200	294	369	469	520
60	110		271	342	430	495
80	80	140	220	270	330	395
100	60	100	160	210	260	305



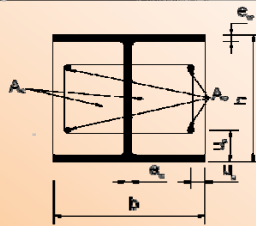
79

Figure 6.25

		Résistance au feu normalisé					
		R30	R60	R90	R120	R180	R240
1.1	Dimensions minimales h_c et b_c [mm]	150	180	220	300	350	400
1.2	Enrobage minimal du profilé c [mm]	40	50	50	75	75	75
1.3	Distance minimale de l'axe des armatures a_g [mm]	20*	30	30	40	50	50
Ou							
2.1	Dimensions minimales h_c et b_c [mm]	-	200	250	350	400	-
2.2	Enrobage minimal du profilé c [mm]	-	40	40	50	60	-
2.3	Distance minimale de l'axe des armatures a_g [mm]	-	20*	20*	30	40	-

80

Figure 6.26 – Dimensions minimale des colonnes en H partiellement enrobées



		Résistance au feu normalisé			
		R30	R60	R90	R120
rapport optimal épaisseur à encastrement e_s/c_r		0,5	0,5	0,5	0,5
1	Dimensions minimales de la section pour un niveau de chargement $\eta_{R,t} \leq 0,28$				
1.1	dimensions minimales h et b [mm]	160	300	300	400
1.2	distance minimale de l'axe des armatures u_3 [mm]	-	30	3	70
1.3	pourcentage minimal d'armature $A_s/(A_c+A_s)$ en %	-	4		
2	Dimensions minimales de la section pour un niveau de chargement $\eta_{R,t} \leq 0,47$				
2.1	dimensions minimales h et b [mm]	160	300	400	
2.2	distance minimale de l'axe des armatures u_3 [mm]	-	30	4	-
2.3	pourcentage minimal d'armature $A_s/(A_c+A_s)$ en %	-	4		-
3	Dimensions minimales de la section pour un niveau de chargement $\eta_{R,t} \leq 0,66$				
3.1	dimensions minimales h et b [mm]	160	300	-	-
3.2	distance minimale de l'axe des armatures u_3 [mm]	40	4	-	-
3.3	pourcentage minimal d'armature $A_s/(A_c+A_s)$ en %	4		-	-

81

Résumé

La construction mixte acier-béton est une bonne solution pour obtenir une bonne résistance au feu.

82

Résistance au feu des éléments en bois

Principe:

- 1) enlever la zone extérieure des sections qui est carbonisée
- 2) vérifier si la section résiduelle peut supporter les charges

83

Tableau 6.12 – Valeurs de calcul des vitesses de carbonisation suivant l'EN 1995-1-2

	β_0	β_1
	mm/min	mm/min
a) Résineux et hêtre		
Bois lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Bois massif avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Bois feuillu		
Feuille massif ou lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Feuille massif ou lamellé collé avec une masse volumique caractéristique $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL		
avec une masse volumique caractéristique $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,05	0,7
d) Panneaux		
Panneautage bois	0,9 ^a	-
Contreplaqué	1,0 ^a	-
Panneaux à base de bois autres que contreplaqué	0,9 ^a	-

^a Les valeurs s'appliquent pour une masse volumique caractéristique de 450 kg/m^3 et une épaisseur de panneau de 20 mm ou plus, voir 3.4.2(8) pour d'autres valeurs d'épaisseur et de masse volumique.

84

Résumé.

Les éléments en bois peuvent présenter une excellente résistance au feu si leur section transversale est suffisante .

Ils ne se dilatent pas sous l'effet de la chaleur

! Le mode de ruine peut être assez brutal.

85

6.2.5 Maçonnerie portantes

86

Tableau 6.15 – Épaisseur minimale des maçonneries (mm)

	Matériau	Nbre. cas	Rf (mm)					
			1 h.	2 h.	3 h.	4 h.	6 h.	
1	terre cuite - groupe 1, $\rho > 1000 \text{ kg/m}^3$	a	17	100	130	160	170	-
		b		90				
2	terre cuite - groupe 2a, $\rho > 700 \text{ kg/m}^3$	a	6	90	110	130	160	200
		b			100	120	140	190
3	Argile expansée $\rho > 700 \text{ kg/m}^3$	a	15	90	120	140	160	200
		b						190
4	Béton cellulaire - $\rho > 550 \text{ kg/m}^3$	a	8	-	90	120	190	240
		b				90	190	
5	Béton lourd - groupe 1, $\rho > 1500 \text{ kg/m}^3$	a	8	90	120	150	170	-
		b						
6	Béton lourd - groupe 2, $\rho > 800 \text{ kg/m}^3$	a	8	-	150	190	210	240
		b			140	170	200	
7	Silico-calcaire et laitier $\rho > 1200 \text{ kg/m}^3$	3	-	-	-	140	-	

(a) sans enduit

(b) avec enduit

87

Épaisseurs des plaques de plâtre enrobées de carton

Rf (min)	30	60	120
Plaques normales	2 x 12,5	2 x 25	2 x 50
Plaques Rf	-	2 x 15	2 x 30

Section minimale des montants en bois

Rf	30	60	120
d_{sp} (mm)	35	45	65
b (mm)	45	65	105

88

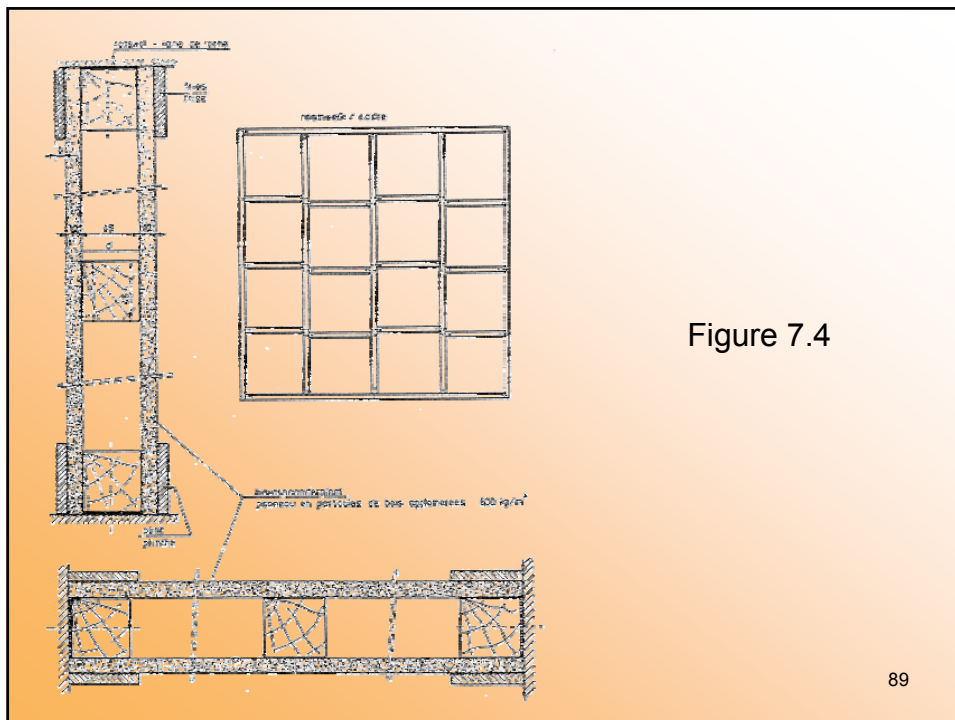


Figure 7.4

89

Méthode de calcul générale

Pour tout incendie.

Pour tous matériaux.

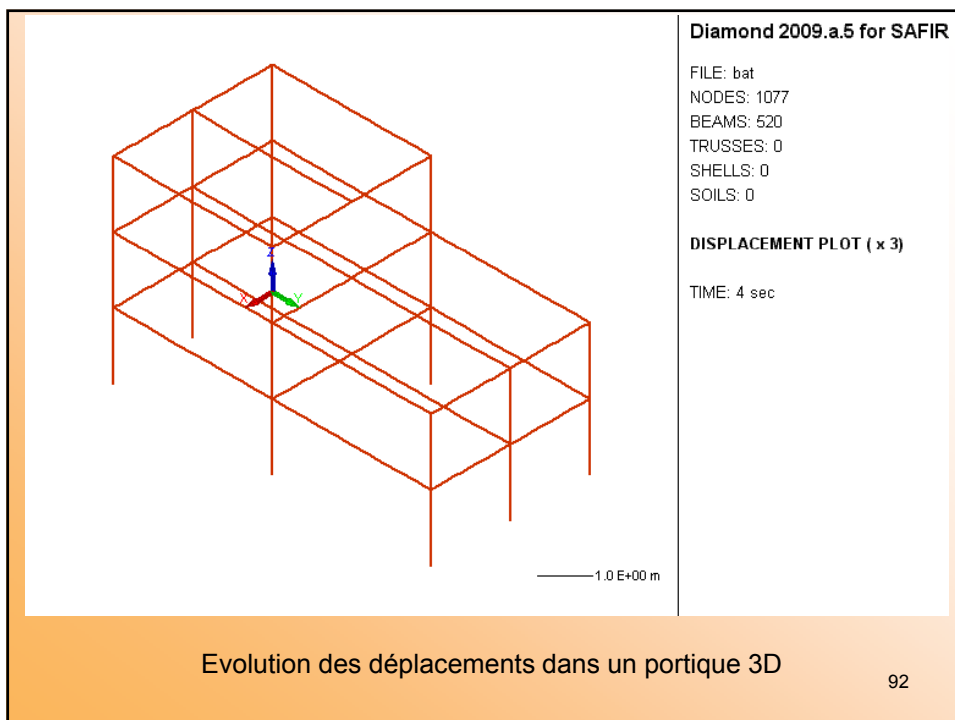
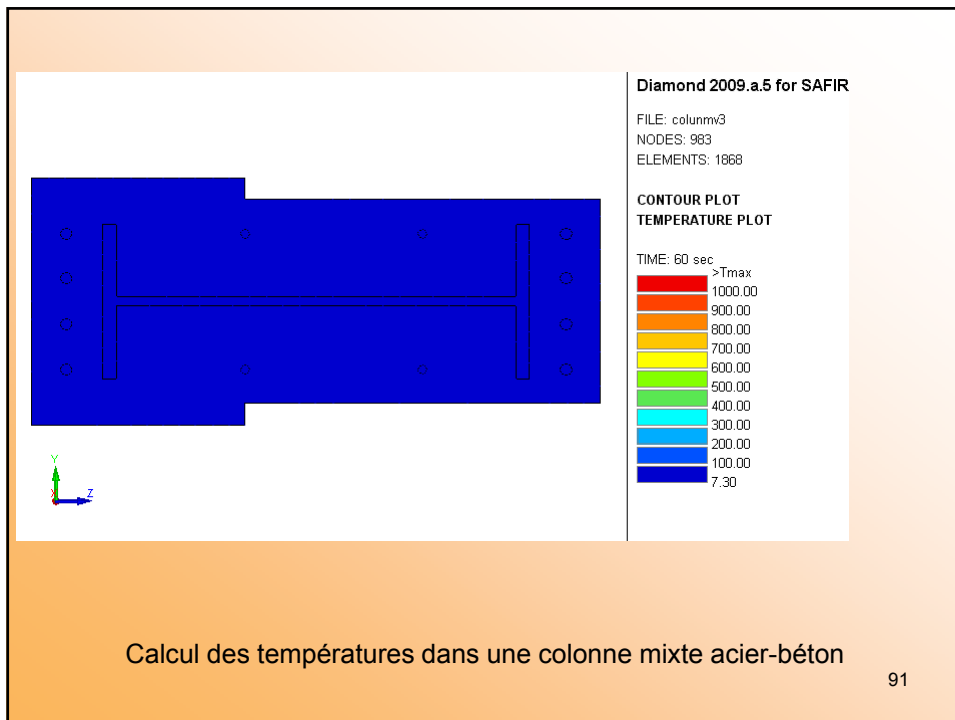
Prend en compte les grands déplacements.

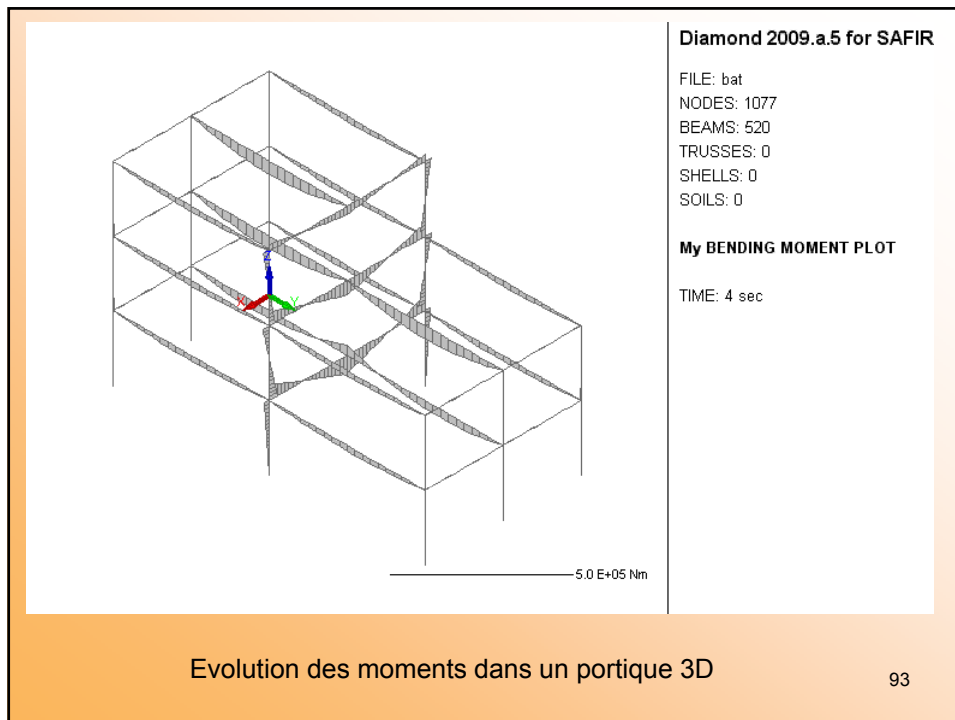
Prend en compte les non linéarités matérielles (thermiques et mécaniques).

Prend en compte les effets des dilatations thermiques.

=> Eléments finis (exemple à l'Ulg: SAFIR)

90





7. Résistance au feu des parois

7.2 Portes

7.2.1 Généralités

7.2.2 Agrément et certification BEANOR-ATG

Numéro du placeur: XXXX
Date: XX/XX/XX

56676

PORTES RESISTANT AU FEU BENOR/ATG

ATTESTATION DE PLACEMENT

Le soussigné NOM DU PLACEUR
certifié par ISIB comme placeur de portes résistant au feu,
certifie par la présente que les portes mentionnées ci-dessous, sont placées conformément à
l'agrément technique BENOR/ATG concerné et aux règles de l'art:

- adresse du bâtiment: Rue, n° _____
Code Postal _____ Localité _____

- propriétaire: _____

- numéro(s) de l' (des) agrément(s) technique(s) BENOR/ATG: XXXX

- localisation des portes (descriptif ou plan en annexe): _____

- nombre de portes certifiées: _____

- nombre d'étiquettes collées: _____

Détails non conformes par rapport aux prescriptions de pose et justification: _____

_____ le placeur certifié

Pour l'entreprise chargée du placement

Annexe: La localisation des portes, le numéro de l'agrément technique BENOR/ATG et la résistance au feu sont
donnés sur un plan en annexe.

A REMETTRE AU MAÎTRE DE L'OUVRAGE OU SON REPRÉSENTANT.

95

