

LA RÉSISTANCE AU FEU DES CONS- TRUCTIONS ET LES EUROCODES

2^e PARTIE : CALCUL DU COMPORTEMENT AU FEU DES STRUCTURES EN BOIS

Yves Martin, ir., chercheur à la division Structures, animateur Antenne-Norme «Prévention contre l'incendie», CSTC
Benoît Parmentier, ir., chef de projet à la division Structures, animateur Antenne-Norme «Eurocodes», CSTC

Second volet d'une série de trois articles consacrés au calcul de la résistance au feu des structures sur la base des Eurocodes, cet article commente la prénorme NBN ENV 1995-1-2 *Eurocode 5 : calcul des structures en bois. Partie 1-2 : Règles générales. Calcul du comportement au feu*. Au sujet du dimensionnement des structures en bois à température ordinaire, on se reportera notamment aux deux articles publiés, l'un dans le Magazine d'été 2001, concernant les planchers des maisons d'habitation, l'autre dans la présente édition concernant les structures de toitures plates ou inclinées.

1 PRINCIPES DE BASE

Comme précisé dans le premier volet de l'article, la vérification de la stabilité au feu des éléments structurels selon les Eurocodes est basée sur le principe suivant :

l'élément structurel résiste au feu aussi longtemps que $E_{d,fi,t} \leq R_{d,fi,t}$, $E_{d,fi,t}$ étant l'effet des actions à prendre en compte en situation d'incendie (effet constant dans le temps) et $R_{d,fi,t}$ la capacité portante, laquelle diminue avec la hausse de température, et donc avec le temps.

L'Eurocode définit la résistance au feu normalisé (exprimée en minutes) comme l'aptitude d'une structure ou d'une partie de celle-ci à remplir les fonctions exigées (porteuses ou séparatives) pendant l'exposition à un *échauffement selon la courbe température-temps normalisée* [9] et pendant une durée définie.

La partie 1-2 de l'Eurocode 5 [6] traite de la résistance au feu des éléments de construction en bois et permet de déterminer la perte de capacité résistante de ce matériau en fonction de la durée de l'incendie (*normalisé*).

2 PROPRIETES MECANIQUES

Les valeurs de calcul concernant les propriétés mécaniques des éléments de construction en bois pour le dimensionnement

en cas d'incendie sont les suivantes :
◆ vérification en terme de résistance :

$$f_{fi,d} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad [1]$$

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{E_{k,0.05}}{\gamma_{M,fi}} \quad [2]$$

◆ vérification en terme de flèche :

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} \frac{E_{moyen}}{\gamma_{M,fi}} \quad [3]$$

avec

$f_{fi,d}$ = contrainte de calcul en cas d'incendie
 f_k = contrainte caractéristique à température ordinaire

$k_{mod,fi}$ = facteur tenant compte de l'influence de la température et de l'humidité du bois sur sa contrainte de rupture caractéristique. Ce facteur remplace le coefficient k_{mod} de la prénorme NBN ENV 1995-1-1

k_{fi} = facteur de conversion de la valeur caractéristique en valeur moyenne (1,25 pour le bois massif et 1,15 pour les éléments en bois lamellé-collé et les panneaux)

$\gamma_{M,fi}$ = coefficient partiel de sécurité à appliquer à la résistance caractéristique des matériaux (béton, acier, bois, etc.) en cas d'incendie; ce coefficient vaut 1

$E_{fi,d}$ = module d'élasticité de calcul en cas d'incendie

E_{moyen} = module d'élasticité moyen à température normale.

3 VITESSE DE CARBONISATION

Le dimensionnement au feu des éléments de construction en bois traité dans la prénorme NBN ENV 1995-1-2 est basé sur la carbonisation de la section : la partie de la section carbonisée ne doit plus être prise en compte dans le calcul de la résistance mécanique de l'élément en bois. Ainsi, si l'on connaît la vitesse de pénétration du front de carbonisation, il est possible de déterminer cette zone endommagée et de calculer la résistance au feu des éléments de construction en bois.

La section 3 de la prénorme NBN ENV 1995-1-2 est consacrée à l'évaluation de la vitesse de carbonisation β_0 . Celle-ci peut être considérée comme constante, elle ne dépend en somme que du type de matériau et de sa masse volumique (plus le bois est lourd, plus la carbonisation est lente).

Les vitesses de carbonisation fournies dans la prénorme NBN ENV 1995-1-2 sont reprises dans le tableau 1.

4 METHODES DE CALCUL EN SITUATION D'INCENDIE

Le principe du calcul de la résistance au feu des sections en bois selon la prénorme NBN ENV 1995-1-2 peut être résumé comme suit : de la section initiale en bois, il faut retirer une couche périphérique dont l'épaisseur est déterminée par la vitesse de carbonisation, et

s'assurer que la section efficace non encore affectée par l'incendie est suffisante pour reprendre les efforts.

Pour calculer la résistance au feu d'un élément de construction en bois, la prénorme NBN ENV 1995-1-2 se base ainsi sur la vitesse de carbonisation afin de déterminer la section résiduelle ou protégée des flammes. Elle envisage trois méthodes de calcul : les deux premières sont des méthodes simplifiées, la troisième est une méthode avancée [9] (cette dernière est simplement énoncée; les propriétés thermiques sur lesquelles elle est basée sont stipulées à l'annexe E de la prénorme). Nous présentons ci-après les deux premières méthodes.

4.1 MÉTHODE 1 : SECTION EFFICACE

La section efficace est obtenue à partir de la section initiale, en enlevant sur toute la périphérie attaquée par le feu (chaque face exposée au feu) une couche dont la profondeur d_{ef} représente la profondeur de carbonisation d_{char} majorée d'un certain facteur, soit :

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0 = \beta_0 \times (t - t_{pr}) + k_0 \times 7 \text{ [mm]} \text{ [5]},$$

expression dans laquelle on a :

β_0 = vitesse de carbonisation en mm/min (cf. tableau 1)

t = durée de l'incendie en minutes

t_{pr} = temps durant lequel le matériau de protection, s'il existe, protège effectivement l'élément en bois ⁽¹⁾

Tableau 1
Vitesse de carbonisation.

TYPE DE BOIS	DENSITÉ SPÉCIFIQUE CARACTÉRISTIQUE ρ [kg/m ³]	DIMENSION MINIMALE d [mm]	VITESSE DE CARBONISATION β_0 [mm/min]
<i>Bois résineux + hêtre :</i> – bois massif – bois lamellé-collé	≥ 290 ≥ 290	35 –	0,8 ⁽¹⁾ 0,7
<i>Bois feuillu lamellé-collé</i>	≥ 290 ≥ 450 et chêne	– –	0,7 ⁽²⁾ 0,5 ⁽²⁾
<i>Panneaux à base de bois :</i> – panneaux en contreplaqué – autres panneaux en bois	450 450	20 20	1,0 ⁽³⁾ 0,9 ⁽³⁾

(1) Valeur à multiplier par $\sqrt{290 / \rho_k}$ pour des densités inférieures à 290 kg/m³.
 (2) Pour le bois massif : interpolation linéaire entre ces deux valeurs.
 (3) Pour d'autres densités et pour des épaisseurs différentes de 20 mm, les valeurs de la vitesse de carbonisation sont à multiplier par les équations (3,4) et (3,5) de la prénorme NBN ENV 1995-1-2.

⁽¹⁾ Différentes équations permettent de calculer cette durée (cf. § 6 du présent article et 3.2(2), C.3.1 et C.3.2 de la prénorme NBN ENV 1995-1-2).

- $k_0 \leq 1$; il est déterminé de la façon suivante :
- $k_0 = 0$ tant que $t \leq t_{pr}$, où t est la durée de l'incendie (résistance au feu requise de l'élément en bois en minutes)
 - $k_0 = 1$ après 20 minutes, s'il n'existe pas de protection; après $(20 + t_{pr})$ minutes, s'il y a un panneau de protection à base de bois; et après $(10 + t_{pr})$ minutes, si le panneau de protection est en plâtre
 - entre ces valeurs, on se réfère au tableau 2.

Fig. 1 Détermination de la section efficace d'une structure en bois.

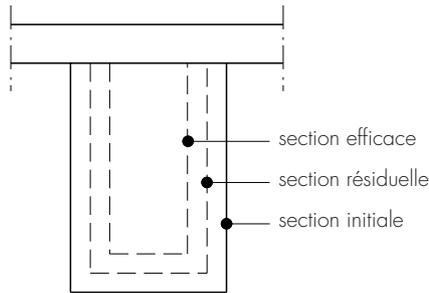


Tableau 2 Valeurs de k_0 .

PROTECTION	CONDITIONS	VALEUR DE k_0
Surfaces non protégées	$t \leq 20$ min	$k_0 = \frac{t}{20}$
Surfaces protégées par des panneaux à base de bois	$t - t_{pr} < 20$ min	$k_0 = \frac{t - t_{pr}}{20}$
Surfaces protégées par des panneaux de plâtre	$t - t_{pr} < 10$ min	$k_0 = \frac{t - t_{pr}}{10}$

On obtient ainsi une section réduite pour laquelle les propriétés de résistance normale du bois sont conservées : en effet, pour dimensionner à chaud les éléments de construction en bois, l'application de la méthode de la section efficace, qui est la plus simple, requiert que le coefficient $k_{mod,fi}$ des équations [1] à [3] soit égal à 1 (ce qui signifie qu'il n'y a pas de perte des propriétés de résistance de la section réduite).

4.2 MÉTHODE 2 : RÉSISTANCE ET RIGIDITÉ RÉDUITES

Au lieu d'incorporer un facteur majorant la profondeur de carbonisation pour calculer la section non encore affectée par l'incendie, la seconde méthode tient compte non seulement de la réduction de la section initiale, mais également d'une diminution des propriétés de résistance de la section réduite en bois : $k_{mod,fi} < 1$.

La section réduite est obtenue à partir de la section initiale, en enlevant sur toute la périphérie attaquée par le feu une couche d'une épaisseur d_{char} , appelée profondeur de carbonisation, qu'on peut déterminer de deux façons :

- ◆ sans tenir compte de l'arrondi dans les angles, soit : $d_{char} = \beta_0 \times t$, avec β_0 la vitesse de carbonisation selon le tableau 1 (c'est-à-dire la même vitesse de carbonisation qu'avec la méthode 1)
- ◆ en tenant compte de l'arrondi dans les angles ⁽²⁾, soit : $d_{char} = \beta \times t$, avec β la vitesse de carbonisation suivant le tableau 3.

Tableau 3 Valeur de la vitesse de carbonisation β .

ESSENCE	β [mm/min]
Bois résineux : - lamellé-collé : $\rho \geq 290$ [kg/m ³] - massif : $\rho \geq 290$ [kg/m ³]	0,64 0,67
Bois feuillu massif ou lamellé-collé : $\rho \geq 350$ [kg/m ³]	0,54

En outre, la diminution de la capacité portante de l'élément en bois est prise en compte par le coefficient $k_{mod,fi} < 1$. La prénorme NBN ENV 1995-1-2 définit $k_{mod,fi}$ en fonction du facteur de massivité thermique de la section résiduelle (p/A_r) et du type de sollicitation :

- ◆ facteur applicable à la résistance en flexion :

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} \times \frac{p}{A_R} \quad [6]$$

- ◆ facteur applicable à la résistance en compression :

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \times \frac{p}{A_R} \quad [7]$$

- ◆ facteur applicable à la résistance en traction et au module d'élasticité :

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{330} \times \frac{p}{A_R} \quad [8],$$

p étant le périmètre exposé au feu de la section réduite [m] et A_R l'aire de la section réduite [m²].

Pour dimensionner à chaud un élément en bois suivant la méthode des résistance et rigidité réduites, il faut donc :

1. réduire la section initiale en une section réduite par l'intermédiaire de la profondeur de carbonisation d_{char}
2. diminuer la capacité portante de cette section réduite par l'intermédiaire du coefficient $k_{mod,fi}$.

⁽²⁾ Cette seconde variante est plus difficile à appliquer et donc moins utilisée. Pour déterminer le rayon de l'arrondi dans les angles, on se référera à la figure A.1 de la prénorme NBN ENV 1995-1-2.

Les deux méthodes sont illustrées ci-après par le dimensionnement à chaud de deux éléments structurels d'un immeuble de bureaux : une poutre en bois (méthode de la section efficace)

et une colonne en bois (méthode des résistance et rigidité réduites). Remarquons toutefois que chacune des méthodes peut s'appliquer indifféremment aux colonnes et aux poutres.

Exemple pratique 1 : poutre en bois ⁽³⁾ (méthode de la section efficace)

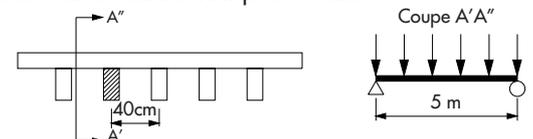
Considérons un plancher en bois dans un immeuble de bureaux. Les poutres du plancher ont les caractéristiques suivantes :

- ◆ bois massif résineux
- ◆ classe de résistance C24 ⁽⁴⁾
- ◆ section rectangulaire : 75 x 250 mm
- ◆ portée $\ell = 5$ m
- ◆ distance des poutres d'axe en axe : $d = 40$ cm.

Les poutres sont exposées au feu standard sur trois faces. La charge permanente caractéristique g_k est égale à 0,5 kN/m²; la charge variable caractéristique q_k à 3 kN/m².

La question qui se pose est la suivante : la poutre résiste-t-elle au feu standard pendant 30 minutes ? Pour le vérifier, il faut s'assurer que le moment résistant de la poutre après 30 minutes de feu standard est supérieur au moment agissant en situation d'incendie.

Fig. 2 Schéma statique de la poutre en bois.



1. Calcul du moment de flexion agissant

La charge appliquée en début d'incendie est déterminée par la combinaison accidentelle des charges [9], soit :

$$N_{fi,d} = \sum_{GA} \times G_{k,i} + \Psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \Psi_{2,i} \times Q_{k,i} = 1 \times G_k + 0,5 \times Q_k = 2 \text{ kN/m}^2.$$

En multipliant cette charge surfacique par la distance des poutres d'axe en axe, nous obtenons la charge linéaire reprise par poutre :

$$q_{fi,d} = 2 \times 0,40 = 0,8 \text{ kN/m}.$$

Nous pouvons ainsi déterminer le moment de flexion maximum agissant au milieu de la poutre étudiée : $M_{fi,d} = \frac{q_{fi,d} \times \ell^2}{8} = 2,50 \text{ kNm}$.

2. Calcul du moment de flexion résistant après 30 minutes de feu standard

Soit : $\sigma = M \frac{v}{I} \rightarrow M_{R,fi,t} = f_{fi,d,30} \times \frac{I}{v}$ où $f_{fi,d,30}$ = résistance de calcul après 30 minutes de feu standard

I/v = module de flexion de la section réduite après 30 minutes de feu standard.

- ◆ Section réduite après 30 minutes de feu standard

La profondeur effective équivaut à : $d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0 = \beta_0 \times (t - t_{pr}) + k_0 \times 7 = 31$ mm, avec $\beta_0 = 0,8$ mm/min (tableau 1, bois massif résineux)

$$k_0 = 1$$

$$t = 30 \text{ min}$$

$$t_{pr} = 0 \text{ min (pas de protection).}$$

Nous déterminons ensuite la section efficace (poutre exposée sur trois faces) : - largeur = $b - 2 \times d_{ef} = 75 - 62 = 13$ mm
- hauteur = $h - d_{ef} = 250 - 31 = 219$ mm.

Le module de flexion de cette section réduite s'élève donc à : $\frac{I}{v} = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{13.219^2}{6} = 103.916 \text{ mm}^3$.

- ◆ Résistance de calcul en cas d'incendie

La formule [1] peut s'écrire dans ce cas-ci ⁽⁴⁾ :

$$f_{fi,d,30} = 1,0 \times 1,25 \times \frac{24}{1,0} = 30 \text{ N/mm}^2.$$

Nous pouvons ainsi déterminer le moment résistant après 30 minutes de feu standard, soit : $M_{R,fi,t} = 3,12 \text{ kNm}$.

3. Conclusion

Le moment résistant après 30 minutes de feu standard est plus élevé que le moment agissant en cas d'incendie; nous pouvons donc conclure que la poutre en bois offre une stabilité de 30 minutes au feu standard.

En effectuant le calcul via la seconde méthode (résistance et rigidité réduites), on obtient une valeur de 4,19 kNm pour le moment résistant après un incendie standard de 30 minutes. Le moment résistant est donc plus élevé que celui obtenu par la méthode précédente. En effectuant le même calcul pour différentes durées d'exposition au feu standard, on peut représenter l'évolution des moments résistants en fonction de la durée de l'incendie et ce, pour les deux méthodes précitées.

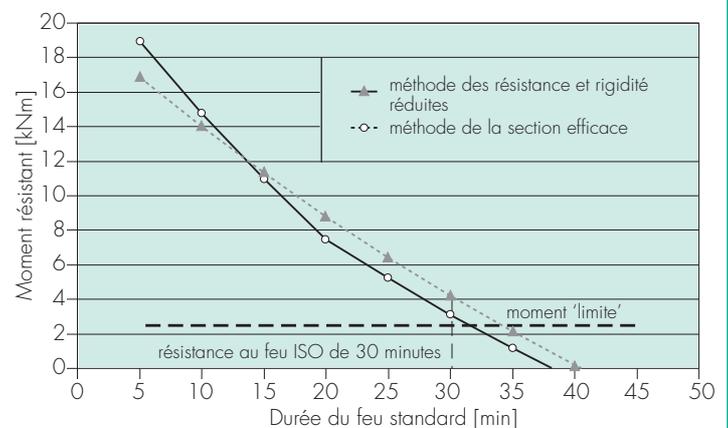


Fig. 3 Evolution des moments résistants en fonction de la durée de l'incendie standard selon les deux méthodes de calcul pour l'exemple considéré.

⁽³⁾ Exemple inspiré de l'examen clôturant le cycle de formation «Résistance au feu des constructions : application des Eurocodes» organisé par l'ULg.

⁽⁴⁾ Classe de résistance pour résineux définie selon la norme NBN EN 338 : $f_{m,k}$ (flexion) = 24 N/mm². Voir aussi bibliographie [10].

Exemple pratique 2 : colonne en bois (méthode des résistance et rigidité réduites) ⁽⁵⁾

Considérons une colonne en bois dans un immeuble de bureaux. La colonne a les caractéristiques suivantes :

- ◆ bois massif résineux de la classe C24 ⁽⁶⁾
- ◆ bi-articulée
- ◆ section carrée : 250 x 250 mm
- ◆ hauteur h = 3,5 m.

La colonne est exposée au feu standard sur ses quatre faces. La charge permanente caractéristique G_k est égale à 140 kN, la charge variable caractéristique Q_k à 60 kN.

La colonne résiste-t-elle au feu standard pendant 60 minutes ? Pour le vérifier, il faut s'assurer que sa résistance au flambement après 60 minutes d'exposition au feu standard est suffisante.

1. Valeur de calcul des actions (situation accidentelle)

La charge appliquée en début d'incendie est déterminée par la combinaison accidentelle des charges [9], soit :

$$N_{fi,d} = \sum \gamma_{GA} \times G_{k,i} + \Psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \Psi_{2,i} \times Q_{k,i} = 1 \times G_k + 0,5 \times Q_k = 170 \text{ kN.}$$

2. Méthode des résistance et rigidité réduites

Pour dimensionner à chaud un élément en bois suivant la méthode des résistance et rigidité réduites, il faut, d'une part, déterminer la section réduite et, d'autre part, tenir compte d'une diminution de la capacité portante de cette section réduite.

- ◆ Section réduite après 60 minutes de feu standard

La profondeur de carbonisation vaut : $d_{char} = \beta_0 \times (t - t_{pr}) = 48 \text{ mm}$, avec $\beta_0 = 0,8 \text{ mm/min}$ (tableau 1, bois massif résineux)
 $t = 60 \text{ min}$
 $t_{pr} = 0 \text{ min}$ (pas de protection).

Nous déterminons ensuite la section réduite : - largeur = $b - 2 \times d_{char} = 250 - 96 = 154 \text{ mm}$
 - hauteur = $h - 2 \times d_{char} = 250 - 96 = 154 \text{ mm}$.

- ◆ Résistance de calcul en cas d'incendie

La diminution de la capacité portante de la section réduite est déterminée par l'intermédiaire du coefficient $k_{mod,fi}$

(pour la résistance à la compression) : $k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \times \frac{p}{A_R} = 0,792$.

La formule [1] peut s'écrire dans ce cas-ci : $f_{fi,d} = 0,792 \times 1,25 \times \frac{21}{1,0} = 2079 \text{ N/mm}^2$.

3. Vérification au flambement

Pour la vérification au flambement, les formules du § 5.2.1 de la prénorme NBN ENV 1995-1-1 [5] doivent être vérifiées. Les contraintes de flexion dues aux charges latérales étant nulles dans notre exemple, cela revient à vérifier la relation suivante :

$$\frac{\sigma_{c,0,fi,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,fi,d}} \leq 1$$

où $f_{c,0,fi,d}$ = résistance de calcul en compression en situation d'incendie, soit $20,79 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{c,0,fi,d}$ = contrainte de calcul en compression en situation d'incendie, soit :

$$\frac{N_{fi,d}}{b \times h} = \frac{170 \text{ kN}}{154 \times 154} = 7,17 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,y} = 0,48$ selon la norme NBN ENV 1995-1-1 (calcul à froid).

La valeur de $\frac{N_{fi,d}}{b \times h} = \frac{170 \text{ kN}}{154 \times 154} = 0,72$, ce qui

est inférieur à 1. La contrainte de flambement de la colonne après 60 minutes d'exposition au feu standard est inférieure à la contrainte critique. La résistance au feu standard est légèrement supérieure à 1 heure.

Si on effectue le calcul par la méthode de la section efficace, le rapport permettant de vérifier la résistance au flambement est égal à 0,82 et est donc également inférieur à 1.

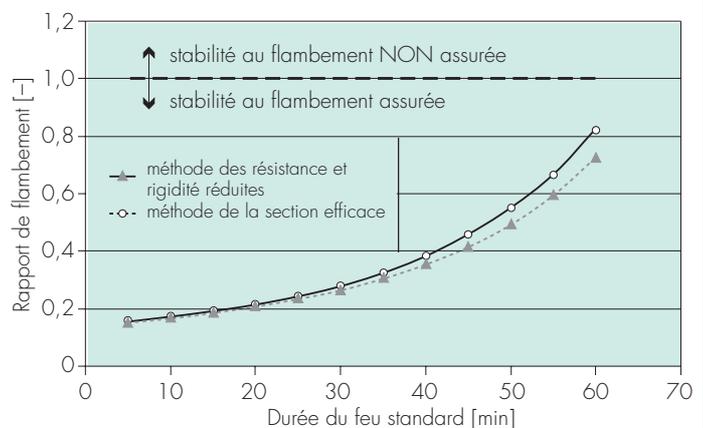


Fig. 4 Evolution du rapport de flambement en fonction de la durée de l'incendie standard selon les deux méthodes de calcul pour l'exemple considéré.

⁽⁵⁾ Exemple inspiré du cycle de formation «Résistance au feu des constructions : application des Eurocodes» organisé par l'ULg.

⁽⁶⁾ Classe de résistance pour résineux définie selon la norme NBN EN 338 : $f_{c,k}$ (compression) = 21 N/mm².

5 ASSEMBLAGES

Non seulement les éléments structurels en bois doivent avoir une résistance au feu suffisante, mais il faut également s'assurer que les assemblages et leurs appuis présentent la même résistance. En effet, les assemblages en acier constituent bien souvent le point faible d'une structure en bois. Il est admis que les assemblages bois sur bois et bois sur tôles d'acier ont une résistance au feu standard de 15 minutes, si l'on répond aux conditions de la prénorme NBN ENV 1995-1-1 (section 6).

Pour garantir une résistance au feu supérieure, il faut vérifier les dispositions du chapitre 4.5 de la prénorme NBN ENV 1995-1-2 concernant les dimensions des assemblages et leur capacité portante :

- ◆ *dimensions des assemblages* (cf. figure 5) :
 - l'épaisseur t_1 doit être augmentée de la distance

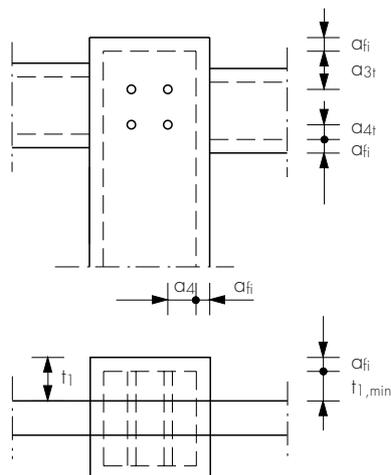
$$a_{fi} = \beta_0 (t_{fi,req} - 15)$$

où β_0 = vitesse de carbonisation [mm/min] (cf. tableau 1)

$t_{fi,req}$ = résistance au feu standard demandée [min]

- les distances aux rives de l'organe d'assemblage (a_{3t} et a_{4t}) (cf. section 6 de la prénorme NBN ENV 1995-1-1) doivent être augmentées de cette même valeur si
 - $a_{3t} < \beta_0(t_{fi,req} - 15)$ et $a_{4t} < \beta_0(t_{fi,req} - 15)$

Fig. 5 Epaisseur supplémentaire et distances aux rives de l'organe d'assemblage



- ◆ *capacité portante des assemblages* : selon la prénorme NBN ENV 1995-1-2, pour obtenir une résistance au feu standard supérieure à 15 minutes, il faut également augmenter le nombre d'organes d'assemblage ou accroître leur résistance. A titre d'exemple, pour les assemblages bois sur bois, le calcul peut se faire en affectant, à la capacité portante des assemblages, un facteur η égal, pour une exposition au feu standard

de 30 minutes, à :

- 0,8 pour les clous, chevilles et connecteurs avec clous
- 0,45 pour les boulons et connecteurs avec boulons.

En ce qui concerne les autres situations (durée d'exposition, type d'assemblage, etc.), on se référera au § 4.5 et à l'annexe B de la prénorme NBN ENV 1995-1-2.

6 REVETEMENTS DE PROTECTION AU FEU DES ELEMENTS DE CONSTRUCTION EN BOIS

La protection des éléments de construction en bois peut être assurée

au moyen de panneaux rigides isolants ou par imprégnation de sels résistant au feu.

La prénorme NBN ENV 1995-1-2 stipule qu'en général, le temps limite de défaillance des revêtements de protection au feu doit être déterminé par un essai normalisé [2]. Pour les panneaux de protection en bois ou à base de bois, elle donne une relation déterminant ce temps limite :

$$t_{pr} = \frac{t_p}{\beta_0} - t_r \quad [9]$$

où t_r = 4 minutes

β_0 = vitesse de carbonisation [mm/min] selon le tableau 1

t_p = épaisseur du revêtement [mm].

Des relations permettant de calculer le temps limite de défaillance d'autres revêtements de protection (en plâtre, etc.) sont données à l'annexe C.3 de la prénorme NBN ENV 1995-1-2.

Le présent article a été élaboré dans le cadre de l'action des Antennes Normes «Prévention au feu» et «Eurocodes» menée au sein du CSTC en faveur des PME, avec le soutien du ministère des Affaires économiques. Ces actions ont pour but d'assurer, auprès des secteurs concernés et en particulier auprès des PME, une diffusion aussi large que possible des informations relatives à la prévention des incendies et aux Eurocodes.

Pour plus de détails, le lecteur consultera notre site internet ou s'adressera directement au CSTC :

☎ 02/655.77.11
 ☎ 02/653.07.29
 ✉ info@bbri.be
 🌐 http://www.bbri.be/antenne_norm

Exemple pratique 3 : poutre en bois

Reprenons l'exemple 1 et posons-nous la question de savoir si un revêtement de protection en panneaux à base de bois d'une masse spécifique caractéristique de 450 kg/m^3 et d'une épaisseur de 3 cm permet d'obtenir une résistance au feu standard de 60 minutes ?

La formule [9] donne le temps limite de défaillance du panneau de protection au feu à base de bois, soit :

$$t_{pr} = \frac{t_p}{\beta_0} - t_r$$

où

$t_r = 4$ minutes

$t_p =$ épaisseur du revêtement [mm], soit 30 mm

$\beta_0 =$ vitesse de carbonisation [mm/min] des panneaux en bois selon le tableau 1.

Etant donné que t_p n'est pas égal à 20 mm, comme exigé dans le tableau, il faut se référer à la prénorme NBN ENV 1995-1-2, qui fournit une formule de conversion ⁽⁷⁾ pour un panneau du même type, mais d'une épaisseur de 20 mm, soit :

$$\beta_0 = \beta_{0,450,20\text{mm}} \times k_p \times k_t = 0,9 \times 1 \times 0,816 = 0,735 \text{ mm/min}$$

$$\text{où } k_p = \sqrt{450/\rho_k} = 1$$

$$k_t = \min\left(\sqrt{20/t_p}; 1,0\right) = \min(0,816; 1,0) = 0,816.$$

D'où $t_{pr} = 36,8$ minutes.

◆ Section réduite après 60 minutes de feu standard

La profondeur de carbonisation "efficace" est égale à :

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0 = \beta_0 \times (t - t_{pr}) + k_0 \times d_0 = 25,6 \text{ mm},$$

avec $\beta_0 = 0,8 \text{ mm/min}$ (cf. tableau 1 pour le bois massif résineux)

$$k_0 = 1$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$t = 60 \text{ minutes}$$

$$t_{pr} = 36,8 \text{ minutes.}$$

Nous déterminons ensuite la section efficace (pour une poutre exposée sur trois faces) :

$$- \text{largeur} = b - 2 \times d_{ef} = 75 - 51,1 = 23,9 \text{ mm}$$

$$- \text{hauteur} = h - d_{ef} = 225 - 25,6 = 199,4 \text{ mm.}$$

Le module de flexion de cette section réduite équivaut à :

$$\frac{I}{v} = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{23,9 \times 199,4^2}{6} = 158.379 \text{ mm}^3.$$

◆ Résistance de calcul en cas d'incendie

La formule [1] peut s'écrire dans ce cas-ci ⁽⁸⁾ :

$$f_{fi,d} = 1,0 \times 1,25 \times \frac{24}{1,9} = 30 \text{ N/mm}^2.$$

Le moment résistant après 30 minutes de feu standard vaut donc :

$$M_{R,fi,t} = 4,75 \text{ kNm.}$$

Cette protection est suffisante pour rendre la poutre Rf 60 minutes. Par calcul et itération, nous pouvons établir qu'un panneau de protection au feu de ce type, d'une épaisseur $t_p > 26,55 \text{ mm}$ suffit pour que la poutre en question soit résistante au feu standard durant 60 minutes.

⁽⁷⁾ Equation (3.3) de la prénorme NBN ENV 1995-1-2.

⁽⁸⁾ Classe de résistance pour résineux définie selon la norme NBN EN 338 : $f_{m,k}$ (flexion) = 24 N/mm².

BIBLIOGRAPHIE

- 1** Brûls A. & Vandeveldel P.
Sécurité contre l'incendie dans les bâtiments. Partie 1 : prévention passive. Gand, Institut de sécurité incendie (ISIB), mai 2000.
- 2** Comité européen de normalisation
prEN ENV 13381-7 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Part 7 : Applied protection to timber members. Bruxelles, CEN, 2000.
- 3** Franssen J.-M.
Module 8. Eurocode 5 : bois. Edité dans le cadre de la formation au Fire Safety Engineering "Résistance au feu des constructions. Application des Eurocodes", Université de Liège, novembre 2000.
- 4** Institut belge de normalisation
NBN EN 338 Bois de structure. Classes de résistance. Bruxelles, IBN, 1995.
- 5** Institut belge de normalisation
NBN ENV 1995-1-1 Eurocode 5 Calcul des structures en bois. Partie 1-1 : règles générales et règles pour bâtiments. Bruxelles, IBN, 1995.
- 6** Institut belge de normalisation
NBN ENV 1995-1-2 Eurocode 5 Calcul des structures en bois. Partie 1-2 : Règles générales. Calcul du comportement au feu. Bruxelles, IBN, mai 1995.
- 7** Lassoie, L.
Dimensionnement des structures en bois. 1^{ère} partie : les planchers des maisons d'habitation. Bruxelles, CSTC-Magazine, été 2001.
- 8** Lassoie, L.
Dimensionnement des structures en bois. 2^e partie : les structures de toitures plates ou inclinées. Bruxelles, CSTC-Magazine, hiver 2001.
- 9** Martin Y. & Parmentier B.
La résistance au feu des constructions et les Eurocodes. 1^{ère} partie : actions sur les structures exposées au feu et calcul du comportement au feu des structures en béton. Bruxelles, CSTC-Magazine, automne 2001.
- 10** Salomez L.
Bois de structure : quelle qualité ? Bruxelles, CSTC-Magazine, été 1994.