

**LA RESISTANCE AU FEU DES OUVRAGES EN BOIS LAMELLE COLLE**  
**De la norme NF P92-703 (1988) à la norme NF EN 1995-1-2 (2005)**  
**ou du DTU Bois Feu 1988 à l'Eurocode 5**  
**DES PRINCIPES A CONNAITRE**



SNCCBLC



Depuis plusieurs années déjà, le contexte normatif est en pleine mutation sous l'influence de l'Europe. Les normes de calcul de structures sont amenées à changer et les pratiques de dimensionnement sont modifiées considérablement.

Le présent document vise une infime partie de ce spectre normatif et s'attache à décliner et comparer les grands principes de calcul de structures soumises à l'action du feu en mettant en regard la méthode du DTU Bois Feu 1988, basée sur les contraintes admissibles, et celle de l'Eurocode 5 partie 2 adoptant le principe des états limites.



NORME EUROPÉENNE  
 EUROPÄISCHE NORM  
 EUROPEAN STANDARD

PROJET DÉFINITIF  
 prEN 1995-1-2

Décembre 2003

ICS 91.010.30

Destiné à remplacer l'ENV 1995-1-2:1994

Version Française

Eurocode 5: Conception et calcul des structures en bois - Partie  
 1-2: Généralités - Calcul des structures au feu

L'évolution normative permettant l'harmonisation des règles de calcul au niveau européen suit la Directive des Produits de Construction 89/106/EEC selon laquelle : « *L'ouvrage doit être calculé et construit de telle sorte que, dans le cas d'une éruption de feu*

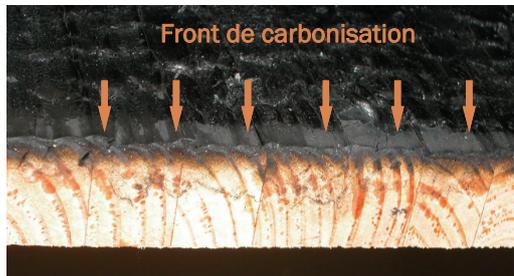
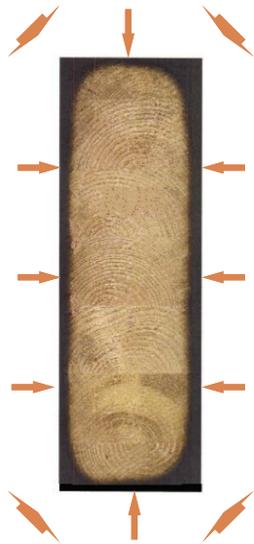
- *la capacité portante de la construction peut être maintenue pour une période de temps spécifique*
- *la naissance et la propagation de feu et de la fumée au sein de la construction sont limitées*
- *la propagation de feu vis à vis des constructions voisines est limitée*
- *les occupants peuvent quitter la construction ou peuvent être secourus par d'autres moyens*
- *La sécurité des équipes de sauvetage est également prise en compte. »*

La norme nationale **NF P92-703** datant de février 1988 (ou D.T.U. Bois Feu 88) « a pour objet de donner des méthodes permettant de justifier de degré de résistance au feu d'ouvrages ou de parties d'ouvrages en bois »

La norme européenne **NF EN 1995-1-2** publiée en septembre 2005 stipule : « *Les objectifs généraux de la protection au feu consistent à limiter les risques eu égard aux individus, à la société, aux propriétés avoisinantes, et lorsque c'est exigé, à la propriété directement exposée, dans le cas d'un feu.* » Les calculs sont menés avec, en sus de la NF EN 1995-1-2, la NF EN 1990 et la NF EN 1991-2 (juillet 2003) et leurs annexes nationales.

ELEVATION DE TEMPERATURE - CARBONISATION  
RAPPELS GENERAUX

Sous l'effet d'une élévation de température, le bois se dessèche, brunit et ce n'est qu'ensuite, à environ 300°C qu'il commence à carboniser. Lors d'un incendie, la **couche externe de charbon de bois** qui se forme autour d'une pièce joue un rôle d'**isolant thermique**. Elle empêche la pénétration de la chaleur et de l'oxygène dans les couches intérieures. La conductivité thermique du bois étant très faible (soit environ 1/300 celle de l'acier), la chaleur au cœur d'une section massive reste faible au regard de la température extérieure et ne dépasse pas 50°C. Ce phénomène a été observé à de nombreuses reprises lors de campagnes expérimentales des années 60 à aujourd'hui. Le

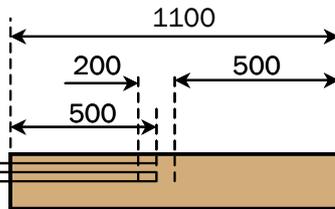


paragraphe suivant présente une étude européenne récente permettant l'observation du comportement du lamellé collé soumis au feu.

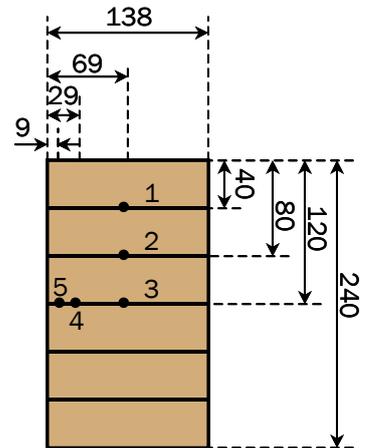
EVOLUTION DES TEMPERATURES - CONSTAT EXPERIMENTAL

Des tests d'exposition au feu ont été pratiqués au Norwegian Institute of Wood Technology en 2001 par Björn Kallender et Per Lind. Ils ont permis, outre leur but premier d'analyser le comportement des adhésifs structuraux vis à vis de l'incendie, d'observer précisément l'évolution de la température à l'intérieur de poutres en lamellé collé soumise à un incendie dans un petit four (la température dans l'enceinte suit l'évolution standard de la norme ISO 834 similaire à la norme EN 1363-1).

Pour ce faire, des capteurs de température (thermocouples) ont été introduits dans les plans de collage comme présenté sur les figures ci-dessus (cotation en mm).

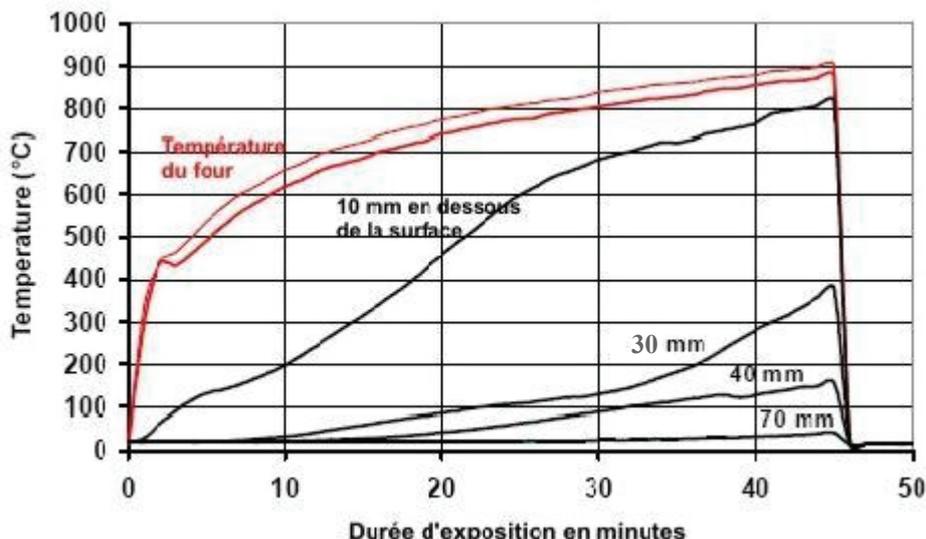


Coupe longitudinale



Coupe transversale

L'instrumentation sert donc de base à l'établissement de relevés pour chaque capteur. On obtient ainsi l'évolution de la température en fonction du temps d'exposition au feu pour des points précis à l'intérieur même de la poutre en bois lamellé. Le graphique suivant en est l'illustration.



Températures moyennes mesurées à différentes profondeurs de poutres bois lamellé collé soumises à des essais d'exposition au feu.

Étude réalisée par le Norwegian Institute of Wood Technology (NTI) avec participation du FMPA. Rapport SP 2001.35

L'exposition au feu est de 45 minutes et se produit dans un four de 1 m<sup>3</sup>. En rouge, on lit l'évolution de la température dans l'enceinte alors que les courbes noires reflètent la température dans le bois.

**Il ressort de cette étude que les températures à cœur (pour cette dimension de poutre) durant la période finale de l'exposition sont comprises entre 37°C et 50°C.**

Les vitesses de carbonisation mesurées lors de cette étude sont similaires à celles déjà calibrées depuis de longues années de l'ordre de 0,6 mm/minute pour des résineux.



**Le bois lamellé collé conserve donc longtemps ses caractéristiques mécaniques et son comportement sous charges ne dépend que de sa section nette non détruite par le feu. On considère ainsi le bois lamellé collé comme un matériau fiable et prévisible vis-à-vis de sa résistance au feu.**

L'EVOLUTION REGLEMENTAIRE

Arrêté du 23 avril 1983

Il existe d'ores et déjà trois catégories de performance en résistance au feu dans l'arrêté du 21 avril 1983 :

- **la stabilité au feu (SF)** pour laquelle la résistance mécanique est requise,
- **le pare-flammes (PF)** pour laquelle l'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds et, le cas échéant, la résistance mécanique sont requis,
- **le coupe feu (CF)** pour laquelle l'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds, l'isolation thermique et, le cas échéant, la résistance mécanique sont requis

Ces performances s'entendent en fractions d'heure : 1/2h, 3/4h, 1h, 2h, 3h, 4h et 6h et sont à faire correspondre en minutes.

exemple : **SF 1/2 heure**

Arrêté du 22 mars 2004

La décision 2003/629/CE du 27 août 2003 classe les produits de la construction vis-à-vis de la résistance au feu. Les normes retenues sont R, E et I ou des combinaisons des trois :

- « R » la capacité portante
- « E » l'étanchéité au feu
- « I » l'isolation thermique

Normes EN 13501-2 ; EN 1365-1, 2, 3, 4, 5, 6.

Ces Euroclasses sont directement liées aux durées pendant lesquelles, les produits, éléments de construction et d'ouvrages satisfont aux critères de performances précédemment cités. Les durées retenues sont : 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 et 360 minutes.

exemple : **R 30**

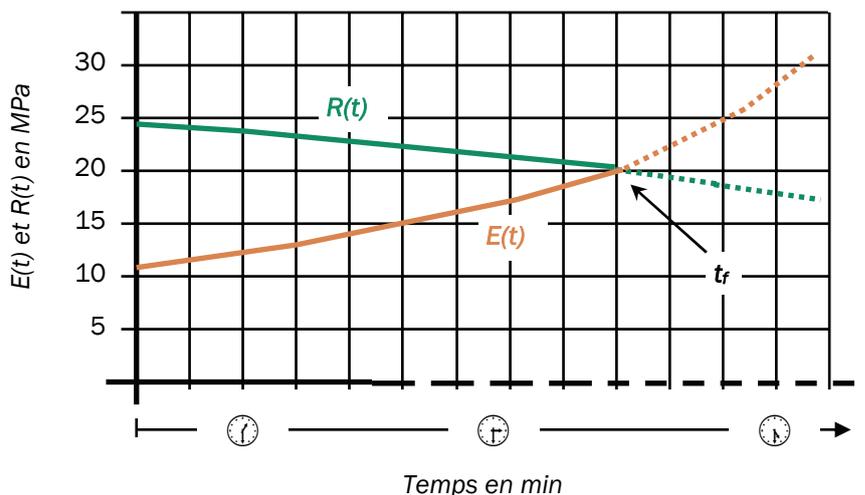
L'arrêté « résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages » du Ministère de l'Intérieur du 22 mars 2004 publié au Journal Officiel Français du 1<sup>er</sup> avril 2004 établit un lien entre les Euroclasses et le système français de classement de résistance au feu des produits de construction.

Les marquages R, E et/ou I remplacent les exigences de stabilité (SF), pare-flammes (PF) et coupe-feu (CF). Le tableau suivant résume les données de l'arrêté du 22 mars 2004 et précise les concordances :

Exigences...	... Marquage requis
SF Stabilité au feu	R
PF Pare-flammes	E ou RE
CF Coupe-feu	EI ou REI

L'arrêté du Ministère de l'Intérieur du 22 mars 2004 cite en Annexe 2, le DTU P92-703 (février 1988) : « Règles BF - Méthode de justification par le calcul de la résistance au feu des structures en bois » comme partie des méthodes de calcul et règles de dimensionnement en vigueur.

VUE GENERALE : EVOLUTION DE L'EFFET DES ACTIONS ET DE LA RESISTANCE



Le graphique ci-dessus montre l'évolution de l'effet des actions  $E(t)$  et de la résistance des éléments en bois  $R(t)$  pendant l'exposition au feu.

Puisque les propriétés du matériaux ou les dimensions de section sont modifiées sous l'action du feu, l'effet des actions  $E(t)$  (pour des actions elles mêmes inchangées) augmente dans le temps. A contrario, les pertes de performances mécaniques et les coefficients de sécurité liés à la situation accidentelle font diminuer la résistance globale de la pièce,  $R(t)$  au cours du temps.

La résistance au feu est atteinte à l'instant  $t_f$  quand  $R(t)$  devient inférieure à  $E(t)$ .

De manière générale, on doit avoir :

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi}$$

Où  $E_{d,fi}$  est la valeur de calcul de l'effet des actions en cas d'incendie

$R_{d,fi}$  est la valeur de calcul de la résistance en cas d'incendie

Notons que ce document concerne le calcul des sections rectangulaires soumises à un feu dit ISO mais qu'il existe d'autres scénarios de feu (cf Arrêté).

LES GRANDS PRINCIPES DE CALCUL D'UNE STRUCTURE AU FEU

Vitesse de carbonisation du lamellé collé non protégé

**DTU BOIS FEU 88**

vitesse moyenne

$$\beta_0 = 0,7 \text{ mm/min}$$

**EUROCODE 5**

vitesse fictive au lieu d'une vitesse unidimensionnelle

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$$

son amplitude inclut l'effet des arrondis et des fentes.

Profondeur de carbonisation du lamellé collé pour un temps t de feu

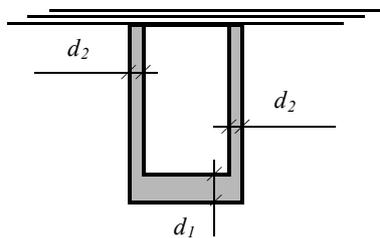
profondeur moyenne d'une face

$$d_i = \beta_0 \times k_1 \times k_2 \times t$$

$k_1$  fonction de l'orientation de la face considérer par rapport au feu

$k_2$  fonction du temps d'exposition avant le début de la carbonisation

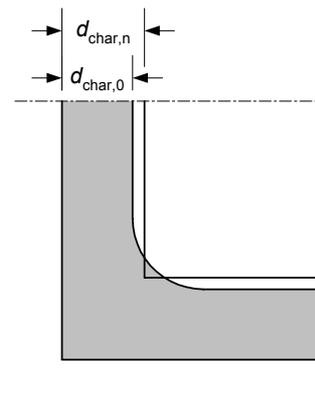
la perte de section due à l'arrondissement des arêtes n'est pris en compte que pour des temps excédant 30 minutes



profondeur fictive au lieu d'une profondeur unidimensionnelle pour s'affranchir des arrondis au niveau des arêtes.

$$d_{char,n} = \beta_n \times t$$

Lorsque l'élément est initialement protégé, le démarrage de la combustion est retardé jusqu'au temps  $t_{ch}$  point clé de la résistance.



Démarche de calcul

**DTU BOIS FEU 88**

Majoration des contraintes admissibles

Les contraintes admissibles sont à multiplier par un coefficient «  $C_{maj}$  » fonction du type de sollicitation appliqué à l'élément de structure.

On doit alors vérifier :

$$\sigma_f \leq C_{maj} \times \sigma_{adm}$$

**EUROCODE 5**

Méthode de la section réduite

La profondeur de carbonisation fictive est augmentée et la relation générale à vérifier est :

$$\sigma_d \leq f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

Avec :

$$k_{mod,fi} = 1$$

$$f_{20} = k_{fi} \times f_k = 1,15 f_k \text{ pour du BLC}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

**DTU BOIS FEU 88**

**Majoration des contraintes admissibles (suite)**

Coefficient de majoration

Coefficient de majoration des contraintes admissibles : « C <sub>maj</sub> »		
Type de sollicitation	Épaisseur résiduelle de la pièce de bois	
	≥ 30mm*	< 30mm*
Flexion	2,25	1,75
Compression	2,00	1,50
Traction	2,25	2,25

\*Les coefficients présentés dans le tableau sont donc applicables en fonction de l'épaisseur résiduelle de l'élément de lamellé collé

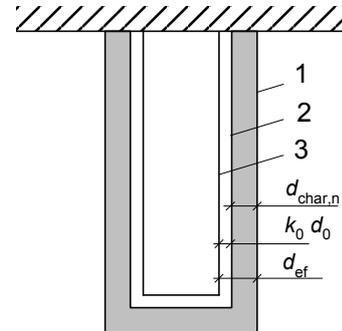
Ils sont identiques à ceux du bois massif en l'absence de résultats d'essais.

**EUROCODE 5**

**Méthode de la section réduite (suite)**

Profondeur de carbonisation fictive

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$



$k_0$  est fonction de la protection de la surface

**Méthode des propriétés réduites**

Elle s'applique aux sections rectangulaires de bois résineux exposé au feu sur 3 ou 4 côtés. Une fois la section résiduelle déterminée, le coefficient  $k_{mod,fi}$  est réduit selon le type de sollicitation :

Effet d'action	$k_{mod,fi}$
Flexion	$1 - \frac{1}{200} \frac{\rho}{A_r}$
Compression	$1 - \frac{1}{125} \frac{\rho}{A_r}$
Traction Module E	$1 - \frac{1}{330} \frac{\rho}{A_r}$

P est le périmètre de la section résiduelle (m)  
A<sub>r</sub> est la section résiduelle (m<sup>2</sup>)

**Les combinaisons d'actions**

**DTU BOIS FEU 88**

On prendra en compte la valeur la plus défavorable des combinaisons et des valeurs de  $\gamma_p$

$$1,1G + 0,8P$$

et / ou

$$1,1G + 0,7\gamma_p P + P_c$$

Où :  $\gamma_p = 0$  ou  $1$

$P_c$  est la sollicitation due aux surcharges climatiques normales soit  $N_n, V_n$  ou

$$\frac{1}{2} N_n + V_n$$

**EUROCODE 5**

Dans le cas du feu standard, l'analyse est menée par élément de structure et on calcule :

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \times E_d$$

$E_d$  étant l'effet des actions pour une conception en température normale

$\eta_{fi}$  Inclus les coefficients classiques des combinaisons d'action. On prend 0,6 (catégorie E) ou 0,7 selon la destination du bâtiment.

Il faut donc se référer respectivement aux normes EN 1990, EN 1991 et EN 1995-1-1.

Influence sur le flambement

**DTU BOIS FEU 88**

On applique une réduction de la charge critique d'Euler :

$$F_{\text{appliquée}} \leq \frac{\text{charge critique d'Euler}}{1,4}$$

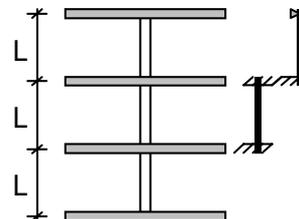
Les éléments ne présentant pas d'instabilité sous sollicitations normales devront être vérifiés comme ne déversant pas ou ne flambant pas.

On tolèrera, dans ces vérifications, les pièces répondant à ces caractéristiques dimensionnelles :

$$\lambda > 180 \quad \frac{h}{b} > 12$$

**EUROCODE 5**

L'Eurocode 5 considère que les éléments de maintien latéraux des poteaux, et servant d'anti-flambement à ces derniers, peuvent brûler et ne plus assurer leur rôle.



Il en est de même pour l'anti-flambement des poteaux qui est supposé ne plus être pleinement efficace. En conséquence, les conditions limites seront supposées plus défavorables en situation d'incendie qu'à température normale. Par exemple, dans le cas d'une portion de poteau continu, considéré initialement comme bi encastré, il convient de prendre la longueur de flambement de L (voir figure) au lieu de 0,5L ou 0,7L.

Profondeur de carbonisation du lamellé collé protégé par une fonction écran

**DTU BOIS FEU 88**

Généralités

Le temps de stabilité au feu d'une pièce de bois protégée par un « bouclier » est, par convention, égal à la **durée d'efficacité** du matériau de protection que l'on majore éventuellement par la propre stabilité de l'élément que l'on calcule comme détaillé précédemment.

La durée d'efficacité peut être déterminée de deux manières :

- Par voie d'essais effectués dans un laboratoire agréé
- Par calcul lorsque le matériau le permet.

Après destruction de la protection en cavité fermée (15 ou 30 minutes par exemple), la vitesse de combustion est pondérée en fonction de 2 paramètres :

- La durée d'exposition au feu. On a alors  $K_2=1$  pendant 15 ou 30 minutes et  $K_2=1,3$  au delà, c'est à dire à la disparition de l'écran.
- L'orientation de l'élément par rapport au feu. On applique un coefficient  $K_1$ . Il vaut 1,3 pour une pièce horizontale face exposée au feu et 1 si elle est verticale,

Les durées de protection en cavité ouverte sont plus faibles qu'en cavité fermée mais les

**EUROCODE 5**

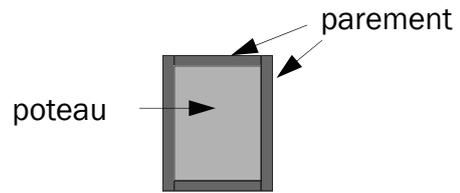
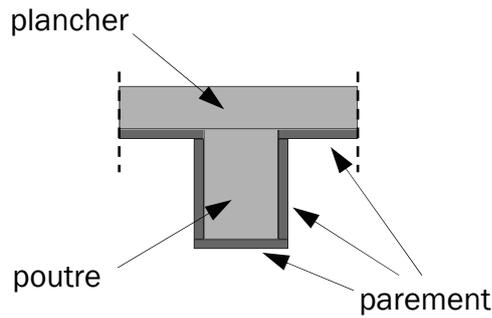
Généralités

Les surfaces protégées par un parement ou un autre élément structural répondent à ces considérations :

- Le démarrage de la combustion est retardé jusqu'à un temps  $t_{ch}$ .
- La combustion peut démarrer avant rupture de la protection. Dans ce cas, la vitesse de combustion est **inférieure à la vitesse de référence  $\beta_n$**  sans parement jusqu'au temps de rupture  $t_r$  de la protection.
- Au delà de ce temps  $t_r$  de protection, la vitesse de combustion est, cette fois-ci, **supérieure à la vitesse de référence  $\beta_n$**  sans parement jusqu'au temps  $t_a$ . Cette valeur est fixée en fonction de la profondeur de carbonisation :  $t_a$  est retenue lorsque la profondeur de carbonisation vaut le minimum entre la profondeur qui serait atteinte sans parement et 25 mm.
- Après  $t_a$ , la vitesse de combustion retrouve ses valeurs de référence sans protection.

Le calcul de la section de bois se complète donc par des coefficients qui affectent les vitesses de carbonisation en fonction du comportement du parement. La section résiduelle se détermine en plusieurs étapes progressives. Il en est de même pour le temps de résistance au feu.

Les figures suivantes présentent des exemples de protection fermée :



**DTU BOIS FEU 88**

Illustrations de cas de variations de vitesse de carbonisation

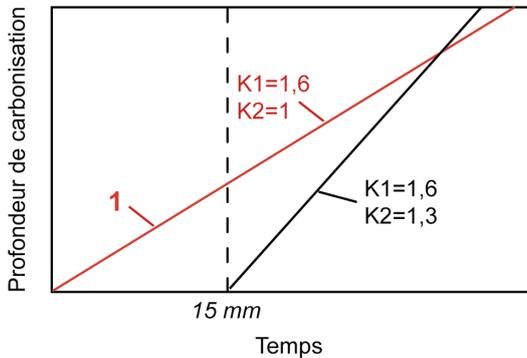
**EUROCODE 5**

Illustrations des trois variations de vitesse de carbonisation possibles à prendre en considération selon les cas

Les graphiques suivants (courbes noires) représentent l'évolution de la vitesse de carbonisation d'une pièce de bois et de son écran de protection dans des conditions différentes d'exposition.

La droite portant le chiffre « 1 » représente l'évolution de la vitesse de carbonisation dans un élément non protégé.

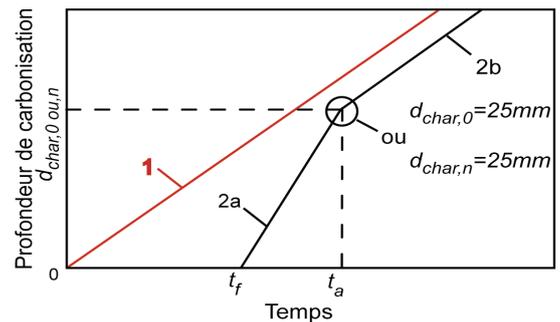
**Exemple 1 :** carbonisation de la face horizontale au dessus du feu



La droite portant le chiffre « 1 » représente l'évolution de la vitesse de carbonisation dans un élément non protégé.

**Cas 1 :**

Dans ce cas la carbonisation ne commence pas avant la rupture de la protection ( $t_f=t_{ch}$ ) et la profondeur de carbonisation au temps  $t_a$  est d'au moins 25 mm.

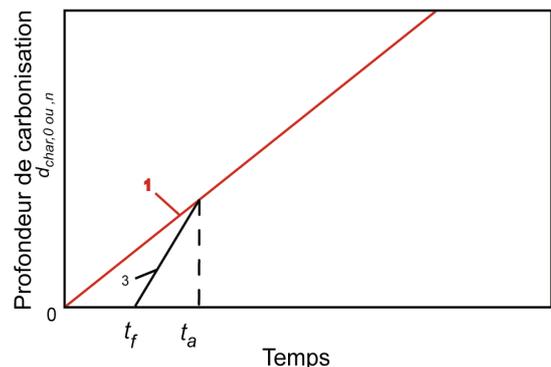


Droite 2a : lorsque la protection est tombée, la combustion démarre à vitesse élevée

Droite 2b : au delà de 2,5 mm de carbonisation, la vitesse ralentit.

**Cas 2 :**

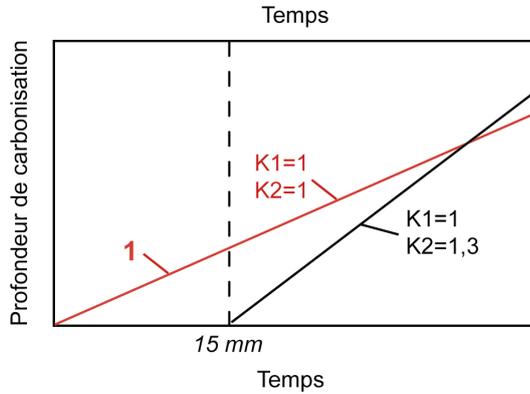
Comme dans le cas 1, la carbonisation ne commence pas avant la rupture de la protection ( $t_f=t_{ch}$ ) mais la profondeur de carbonisation au temps  $t_a$  est inférieure à 25 mm.



**DTU BOIS FEU 88**

Illustrations de cas (suite)

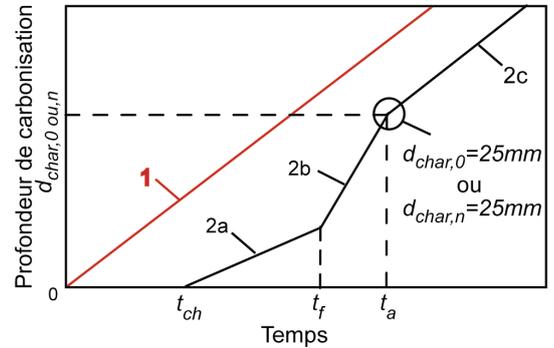
Exemple 2 : carbonisation de la face verticale au dessus du feu



**EUROCODE 5**

Illustrations (suite)

Cas 3 :



Dans ce cas, la carbonisation débute avant que la protection ne soit rompue, puis les vitesses évoluent comme dans le cas 1.

Les assemblages non protégés

**DTU BOIS FEU 88**

Cas général

Stabilité de 1/4 d'heure

Si les pièces assemblées par des pointes ou boulons satisfont individuellement la stabilité, alors tous les assemblages satisfont cette exigence.

Stabilité de 1/2 heure

Épaisseur de bois requise « ep » (mm)	Condition	
72	-	
62	Crampon double face entre 2 pièces assemblées	
	3 pièces assemblées simultanément	

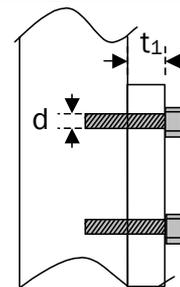
**EUROCODE 5**

Avec éléments latéraux en bois

Des règles simplifiées permettent de déterminer le temps de résistance au feu :

	Temps de résistance au feu $t_{fi,d}$ (min)*	Préconisations
Pointes	15	$d \geq 2,8$ mm
Tire-fonds	15	$d \geq 3,5$ mm
Boulons	15	$t_1 \geq 45$ mm
Broches	20	$t_1 \geq 45$ mm
Assembleurs selon EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm

\* lorsque les têtes de broches, pointes ou tire-fonds sont non-dépassantes, ces valeurs peuvent être augmentées



**DTU BOIS FEU 88**

Cas général (suite)

Stabilité de 1/2 heure (suite)

Épaisseur de métal requise « ep » (mm)	Condition	
6	Plaque en contact avec le bois	
4	Sabot en contact avec le bois	

Stabilité de plus de 1/2 heure

Il faut justifier la tenue au feu des assemblages.



Élément moisé boulonné

**EUROCODE 5**

Avec éléments latéraux en bois (suite)

Pour calculer la valeur caractéristique de la capacité résistante de l'assemblage sollicité en cisaillement lors d'un incendie, on utilise la méthode de la charge réduite :

$$F_{v,Rk,fi} = e^{-kt} F_{v,Rk}$$

Où *k* est un coefficient de minoration fonction du type d'organe d'assemblage et *t* dépend du cas de charge considéré lors du feu.

Avec une plaque métallique interne

Dans le cas de rives non protégées, la plaque ne doit pas être plus large que la pièce de bois et *ep* ≥ 2 mm. La largeur doit alors suivre les valeurs indiquées dans le tableau suivant :

		<i>b<sub>st</sub></i> en mm
Rives non protégées en général 	R30	≥ 200
	R60	≥ 280
Rives non protégées sur un ou deux côtés 	R30	≥ 120
	R60	≥ 280

Avec une plaque métallique externe

On doit pratiquer un calcul selon l'Eurocode 3 : NF EN 1993-1-2 consacré aux constructions métalliques.

Les assemblages protégés

**DTU BOIS FEU 88**

- La résistance au feu des assemblages protégés est évaluée à partir de la durée d'efficacité des protections majorée de 1/4 d'heure pour les pointes broches ou boulons.
- Pour les connecteurs métalliques, la protection est obligatoire pour assurer une stabilité de 1/4 d'heure.
- Les organes de type crampon, anneau ou goujon sont considérés comme protégés si les pièces de bois ne sont pas distantes de plus de 3 mm. Dans le cas contraire, la justification relève de leur propre règlement.

**EUROCODE 5**

Il faut vérifier que le temps de démarrage de la combustion reste supérieur à la période exigée pour la résistance au feu standard (ex : R60) diminué d'une valeur X fonction du type de protection : panneaux à base de bois, plaque de plâtre type A, H ou F.

$$t_{ch} \geq t_{req} - X$$

La norme EN 1995-1-2 définit aussi les prescriptions minimales pour la fixation des protections.

MEMBRES DE LA COMMISSION TECHNIQUE DU SNCCBLC



SNCCBLC



Le S.N.C.C.B.L.C. a pour objectif de promouvoir l'utilisation du bois lamellé collé dans la construction et il participe au développement technique industriel, commercial et économique et à l'établissement de règles de conception et de mise en œuvre.

Il diffuse à l'ensemble des professionnels, les documents d'information relevant de l'architecture et de la construction en bois lamellé collé. Le SNCCBLC membre de la F.I.B.C. et de l'association européenne « Glulam », est l'organisme représentatif des industries françaises du bois lamellé collé pour la construction. Ses membres sont des professionnels de la construction, du bois et de la transformation du bois.

**SYNDICAT NATIONAL DES  
CONSTRUCTEURS DE CHARPENTES  
EN BOIS LAMELLE COLLE**

6 avenue de Saint Mandé  
75012 PARIS

Téléphone : 0143 45 53 43  
Télécopie : 01 43 45 52 42  
Messagerie : snccblc@magic.fr

*le Bois lamellé collé,  
la distinction au naturel*

**Retrouvez-nous sur le WEB !**  
[www.glulam.org](http://www.glulam.org)  
[www.batibois.org](http://www.batibois.org)