

DIMENSIONNEMENT AU FEU

DES ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURE BOIS PAR TIGES CONFORMEMENT AUX EUROCODES



FINANCEMENT

CODIFAB

comité professionnel de développement
des industries françaises de l'ameublement et du bois

AUTEURS



Frank KUPFERLE
Frédéric ROSSI
Antoine BARJOLLE

COMITE DE PILOTAGE

Nous remercions les membres du Comité de Pilotage qui ont su orienter au mieux la rédaction du présent guide pour qu'elle corresponde aux attentes réelles des concepteurs et réalisateurs de structures bois.

Rodolphe MAUFRONT	UMB FFB
Gilles MARMORET	CAPEB UNA CMA
Guy-Noël POTRON	CAPEB UNA CMA
Clément QUINEAU	UICB

GROUPE CONSULTATIF D'EXPERTS

Nous remercions les experts de Groupe Consultatif pour leurs apports tant scientifiques et techniques que pratiques à ce guide, sans lesquels il ne serait certainement pas aussi complet et juste.

Renaud BLONDEAU-PATISSIER	WOODEUM
Julien BRASSY	FCBA
Lionel CABATON	ARBONIS
Thomas FERET	FIBC
Laurent LE MAGOROU	FCBA
Sergio MEDEL	MDBAT
Patrick RACHER	POLYTECH CLERMONT-FERRAND
Cédric ROUX	POULINGUE
Jacques Long TRINH	Consultant
François VARACCA	SFS INTEC

Photo de couverture : © Hugh Lofting Timber Framing, Inc. - www.hughloftingtimberframe.com

© C4Ci, 2018. Tous droits réservés. En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie - 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris

PREAMBULE

Un des aspects essentiels à maîtriser pour concevoir une structure en bois est celui des assemblages. Qu'ils soient réalisés de manière traditionnelle en bois, ou par l'intermédiaire de connecteurs métalliques ou autres (tiges, plaques, assembleurs tridimensionnels, etc.), les assemblages sont stratégiques pour la performance fonctionnelle et économique des structures bois.

La performance des assemblages est d'autant plus importante dans les zones de fort vent, les zones sismiques, et dans les structures soumises à de fortes charges ou moments d'encastrement importants. La compétition de la structure bois, dont les assemblages sont relativement souples, avec d'autres structures telles les structures acier, béton ou la maçonnerie accentue encore l'importance des assemblages.

Les méthodes de justification des assemblages de structures bois introduites par l'Eurocode 5 permettent d'optimiser ces assemblages, en contrepartie d'un temps d'étude important. Pour les structures bois courantes le temps d'étude est difficilement valorisable et doit être limité.

Aussi la partie Feu de l'Eurocode 5 (la NF EN 1995-1-2) est rédigée sous forme de paragraphes indépendants, traitant chacun d'un des aspects du calcul, et que le lecteur doit assembler afin de construire une méthode de calcul complète. Cette construction est rendue difficile par les multiples renvois des paragraphes l'un vers l'autre, l'insertion de multiples exceptions, de règles spécifiques, etc.

C'est dans ce cadre que le CODIFAB (Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois), à la demande des organisations professionnelles UMB FFB (Union des Métiers du Bois), CAPEB UNA CMA (Union Nationale Charpente Menuiserie Agencement) et UICB (Union des Industries de la Construction Bois), a confié à C4Ci le soin de réaliser un guide pour le dimensionnement des assemblages courants de structures bois par tiges métalliques en situation d'incendie :

- Assemblages courants bois-bois, bois-panneau ou bois-métal ;
- À l'aide d'organes de fixation de type tige : pointes, vis, tirefonds, boulons, ou broches

Le présent guide a pour objectif double de :

- Rendre facilement utilisables les méthodes de vérification présentes dans la NF EN 1995-1-2 pour ces assemblages ;
- Permettre le choix entre deux méthodes selon le niveau de précision et la rapidité d'exécution souhaités.

Les consultants de C4Ci ont effectué un travail de relecture poussée de la NF EN 1995-1-2, afin d'en extraire les deux méthodes principales (méthode forfaitaire et méthode de la charge réduite). Puis ils ont travaillé à optimiser ces méthodes pour les durées courantes de résistance au feu (15, 30 et 60 minutes). Enfin ils ont soumis la mise en forme du présent guide à la validation du comité de pilotage du projet.

Les éléments présentés dans les pages qui suivent sont basés sur la réglementation et les normes en vigueur à la date de publication de ce guide. Les schémas et informations ont valeur d'exemple et n'exonèrent pas le lecteur de sa responsabilité et de l'exercice de ses devoirs professionnels.

ABRÉVIATIONS

CODIFAB	Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois
CAPEB	Confédération des Artisans et Petites Entreprises du Bâtiment
UNA CMA	Union Nationale Charpente Menuiserie Agencement (fait partie de la CAPEB)
FFB	Fédération Française du Bâtiment
UMB	Union des Métiers du Bois (fait partie de la FFB)
UICB	Union des Industriels et Constructeurs Bois

UNITÉS

kg	Kilogramme
kN	Kilonewton (1 kN = 100 daN = 1 000 N)
mm	Millimètre
%	Pourcent

RÉFÉRENCES NORMATIVES

NF EN 1990	Eurocode 0 – Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures (Mars 2003)
NF EN 1990/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1990 (Décembre 2011)
NF EN 1991-1-1	Eurocode 1 – Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumique, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments (Mars 2003)
NF P06-111-2	Annexe Nationale Française à la NF EN 1991-1-1 (Juin 2004)
NF EN 1993-1-1	Eurocode 3 – Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments (Octobre 2005)
NF EN 1993-1-1/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1993-1-1 (Août 2013)
NF EN 1993-1-2	Eurocode 3 – Calcul des structures en acier - Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu (Novembre 2005)
NF EN 1993-1-2/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1993-1-2 (Octobre 2007)
NF EN 1993-1-8	Eurocode 3 – Calcul des structures en acier - Partie 1-8 : Calcul des assemblages (Décembre 2005)
NF EN 1993-1-8/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1993-1-8 (Juillet 2007)
NF EN 1995-1-1	Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments (Novembre 2005) + A1 (Octobre 2008) + A2 (Juillet 2014)
NF EN 1995-1-1/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1995-1-1 (Mai 2010)
NF EN 1995-1-2	Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-2 : Généralités - Calcul des structures au feu (Septembre 2005)
NF EN 1995-1-2/NA	Annexe Nationale Française à la NF EN 1995-1-2 (Avril 2007)
NF EN 300	Panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB) – Définitions, classification et exigences (Octobre 2006)
NF EN 312	Panneaux de particules – Exigences (Novembre 2010)
NF EN 622-5	Panneaux de fibres – Exigences – Partie 5 : Exigences pour panneaux obtenus par procédé à sec (MDF) (Décembre 2009)
NF EN 636	Contreplaqué - Exigences (2012) + A1 (Mai 2015)
NF EN 12369-1	Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 1 : OSB, panneaux de particules et panneaux de fibres (Mars 2001)
NF EN 12369-2	Panneaux à base de bois – Valeurs caractéristiques pour la conception des structures – Partie 2 : Contreplaqué (Mars 2004)

SOMMAIRE

1.	DOMAINE D'APPLICATION.....	6
1.1.	DOMAINE D'APPLICATION	8
1.2.	PRISE EN MAIN DU GUIDE	9
1.3.	RAPPEL DES EXIGENCES REGLEMENTAIRES.....	10
2.	METHODES SIMPLES.....	12
2.1.	PRINCIPE DES METHODES SIMPLES	14
2.2.	RESISTANCE DE 15 MINUTES (R15)	16
2.3.	RESISTANCE DE 30 MINUTES (R30)	17
2.4.	RESISTANCE DE 60 MINUTES (R60)	20
3.	METHODES AVANCEES.....	22
3.1.	PRINCIPE DES METHODES AVANCEES	24
3.2.	RESISTANCE DE 30 MINUTES (R30)	26
3.3.	RESISTANCE DE 60 MINUTES (R60)	30
4.	METHODOLOGIE	32
4.1.	DIMENSIONNEMENT DES ASSEMBLAGES AU FEU	34
4.2.	DEVELOPPEMENT DES METHODES DU GUIDE	40
4.3.	VITESSES DE COMBUSTION	44
4.4.	SURCOTE ET PROTECTIONS	45



DOMAINE D'APPLICATION

INTRODUCTION

Le présent guide a pour objectif double de :

- Rendre facilement utilisables les méthodes de vérification présentes dans la NF EN 1995-1-2 pour les assemblages bois-bois et bois-métal par organes de fixation de type tige (pointes, vis, tirefonds, boulons et broches) ;
- Permettre le choix entre deux méthodes selon le niveau de précision et la rapidité d'exécution souhaités.

Cette première partie présente les éléments nécessaires à la prise en main de ce guide.

En premier lieu, le **domaine d'application** est décrit, afin d'en préciser la portée et les exclusions.

La seconde partie de cette section présente **l'articulation du guide afin d'en faciliter l'appropriation et l'utilisation par le lecteur**, notamment vis-à-vis des méthodes de dimensionnement simples et avancées pour les différents types d'organe de fixation et les différents degrés de résistance au feu visés, ainsi que des cas nécessitant des protections rapportées.

Enfin, sont présentées à titre indicatif et de manière **synthétique et non exhaustive les exigences réglementaires** en termes de résistance au feu des éléments structuraux rencontrés dans les **cas les plus courants**, en vigueur à la date de rédaction du présent guide. **Il convient de se reporter impérativement à la réglementation applicable à la date du projet et aux documents particuliers du marché pour définir avec précision les exigences s'appliquant à chaque ouvrage.**

1.1. DOMAINE D'APPLICATION

GENERALITES

Ce guide s'applique aux assemblages bois-bois et bois-métal exposés à un feu standard, pour des résistances au feu inférieures ou égales à :

- 30 minutes sans protection
- 60 minutes avec ou sans protection

(les protections étant celles définies dans la NF EN 1995-1-2 et son Annexe Nationale).

Les méthodes de dimensionnement simples et avancées sont données pour des assemblages :

- chargés latéralement en cisaillement simple ou double ;
- bois-bois constitués de pointes, vis, broches ou boulons ;
- bois-métal constitués de broches ou boulons avec plaque métallique en âme ;
- de structure porteuse d'ouvrages courants soumis uniquement à des actions statiques ou quasi-statiques.

NOTE : DANS CERTAINS CAS, LES NOTATIONS DES EUROCODES OU TEXTES DE REFERENCE ONT ETE ADAPTEES AFIN D'ASSURER LA COHERENCE ENTRE MES DIVERS GUIDES DE LA SERIE EDITES PAR LE CODIFAB OU LORSQUE LE REDACTEUR A JUGE QUE CETTE ADAPTATION POUVAIT FACILITER LA COMPREHENSION GENERALE.

PARTIE BOIS DE L'ASSEMBLAGE

Les éléments en bois ou à base de bois de l'assemblage et la partie bois de l'assemblage lui-même sont préalablement dimensionnés à froid (situation normale) selon la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

Les éléments bois sont constitués de matériaux pour lesquels les méthodes de dimensionnement de l'assemblage pour la partie bois visées au §8 de la NF EN 1995-1-1 s'appliquent.

PARTIE METALLIQUE DE L'ASSEMBLAGE

Les plaques métalliques en âme ainsi que la partie métallique de l'assemblage boulonné lui-même (p.ex. pression diamétrale) sont préalablement dimensionnées à froid (situation normale) selon la NF EN 1993-1-1 et la NF EN 1993-1-8 et leur Annexe Nationale respective.

ELEMENTS NON COUVERTS PAR LE GUIDE

Ce guide ne couvre pas les assemblages réalisés au moyen :

- de connecteurs tri-dimensionnels sous ETE (Evaluation Technique Européenne), à laquelle il convient de se référer.
- de ferrures métalliques mécanosoudées ;
- d'organes de fixation sollicités uniquement axialement (à l'arrachement) ;
- d'organes d'assemblage autres que les pointes, vis, broches et boulons.

CONNECTEURS TRI-DIMENSIONNELS SOUS ETE (P.EX. SABOTS)

Il existe sur le marché des sabots d'épaisseur minimale 2,5 mm susceptibles d'atteindre un degré de résistance au feu R30 sans protection. Il convient de se référer à l'ETE du produit concerné pour les conditions de dimensionnement et de mise en œuvre

ASSEMBLAGES METAL-BOIS PAR FERRURES METALLIQUES

On pourra se référer au « *Guide Pratique – Dimensionnement au feu des assemblages par ferrures métalliques* » édité par le CODIFAB pour le dimensionnement de ces assemblages.

1.2. PRISE EN MAIN DU GUIDE

OBJECTIF

Le présent guide a pour objectif de :

- Rassembler en un seul et même document les méthodes de dimensionnement des assemblages métal-bois par ferrures métalliques en situation d'incendie conformes aux Eurocodes, réparties dans divers documents, notamment :
 - pour la partie bois : NF EN 1995-1-1 (situation normale) et NF EN 1995-1-2 (situation d'incendie) et leur Annexe Nationale
- Faciliter l'appropriation par le plus grand nombre des méthodes de justification des assemblages métal-bois courants en situation d'incendie aux Eurocodes, le cas échéant en présentant des méthodes simplifiées.

ARTICULATION DU GUIDE

Le guide s'articule autour de quatre parties :

DOMAINE D'APPLICATION ET PRISE EN MAIN DU GUIDE

La présente section définit le cadre de validité des méthodes présentées plus loin, et rappelle de manière synthétique et non exhaustive les principales exigences réglementaires.

METHODES SIMPLES

Les méthodes simples sont utiles lorsque l'on souhaite **s'assurer a priori de la durée de résistance au feu sans avoir recours à une quelconque vérification numérique, et sans connaître le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale), ceci par l'application de solutions forfaitaires progressives** :

- Pour 15 minutes (R15) : par de simples exigences dimensionnelles ;
- Passage à 30 minutes (R30) : par augmentation de section des bois ou par protection rapportée ;
- Passage à 60 minutes (R60) : par protection rapportée.

METHODES AVANCEES

Les méthodes avancées sont utiles lorsque l'on souhaite **optimiser l'assemblage en situation d'incendie par rapport aux méthodes simples pour des durées de résistance de 30 ou 60 minutes et lorsque le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale) ainsi que le rapport des charges variables aux charges permanentes Q_k/G_k sont connus**, sans pour autant procéder à la vérification complète de l'assemblage selon la NF EN 1995-1-2. Là aussi **ces solutions sont progressives** :

- Pour 30 minutes (R30) : par limitation du taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (ce qui revient à augmenter le nombre d'organes de fixation) ou par protection rapportée (sans limitation) ;
- Passage à 60 minutes (R60) : par protection rapportée (sans limitation du taux de travail à froid).

METHODOLOGIE

Cette section rassemble diverses informations complémentaires aux parties précédentes du document, et qui fournissent au lecteur les éléments de compréhension du dimensionnement des assemblages bois-bois et bois-métal par organes de fixation de type tige en situation d'incendie selon l'Eurocode 5.

On y explique notamment les éléments ayant permis de proposer les méthodes simples et avancées du présent guide.

Ces informations sont complétées par des tableaux synthétisant les propriétés des matériaux et assemblages spécifiques au dimensionnement des assemblages de structure bois en situation d'incendie, telles que les vitesses de combustion des ou encore les temps de début de combustion pour diverses solutions de protection.

1.3. RAPPEL DES EXIGENCES REGLEMENTAIRES

AVERTISSEMENT

On présente ci-après à titre indicatif et de manière synthétique et non exhaustive les exigences réglementaires en termes de résistance au feu des éléments structuraux rencontrés dans les cas les plus courants, en vigueur à la date de rédaction du présent guide. Tous les documents mentionnés peuvent être consultés gratuitement sur le site www.legifrance.gouv.fr.

Il convient de se reporter impérativement à la réglementation applicable à la date du projet et aux documents particuliers du marché pour définir avec précision les exigences s'appliquant à chaque ouvrage.

REMARQUE : *PAR SOUCI D'UNIFORMITE DE LECTURE, LA CLASSIFICATION EUROPEENNE EST DANS CERTAINS CAS UTILISEE EN LIEU ET PLACE DE LA DENOMINATION REGLEMENTAIRE FRANÇAISE, SELON LA CORRESPONDANCE SUIVANTE :*
« REI » REMPLACE « CF » ; « R » REMPLACE « SF », LES DUREES SONT INDIQUEES EN MINUTES ET NON EN HEURES

BATIMENT D'HABITATION

Les exigences pour ces bâtiments sont fixées par l'arrêté du 31 Janvier 1986 du code la construction et de l'habitation.

BATIMENT D'HABITATION	1 ^{ERE} FAMILLE	2 ^{EME} FAMILLE	3 ^{EME} FAMILLE	4 ^{EME} FAMILLE
PLANCHERS	REI 15 (plancher haut du sous-sol)	REI 30	REI 60	REI 90
ELEMENTS PORTEURS VERTICAUX	R 15	R 30	R 60	R 90
PAROIS VERTICALES DE L'ENVELOPPE DU LOGEMENT A L'EXCLUSION DES FAÇADES	-	EI 30	EI 30	EI 60

ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC

Les exigences pour ces bâtiments sont fixées par l'arrêté du 25 Juin 1980 modifié du code la construction et de l'habitation.

ETABLISSEMENT RECEVANT DU PUBLIC			RESISTANCE AU FEU	
OCCUPATION INTEGRALE	OCCUPATION PARTIELLE	CATEGORIE	PLANCHER	STRUCTURE
SIMPLE REZ-DE-CHAUSSEE	A UN SEUL NIVEAU	1 ^{ERE} à 4 ^{EME}	REI 30	R 30
$H_{PB} \leq 8 M$	$D_{HE} \leq 8 M$	5 ^{EME} SANS locaux de sommeil	-	-
		5 ^{EME} AVEC locaux de sommeil	REI 30	R 30
		2 ^{EME} à 4 ^{EME}	REI 30	R 30
		1 ^{ERE}	REI 60	R 60
$8 M < H_{PB} \leq 28 M$	$D_{HE} > 8 M$	5 ^{EME} SANS locaux de sommeil	REI 60	R 60
		5 ^{EME} AVEC locaux de sommeil	REI 60	R 60
		2 ^{EME} à 4 ^{EME}	REI 60	R 60
		1 ^{ERE}	REI 90	R 90

H_{PB} Hauteur par rapport au sol (niveau d'accès pompier) du plancher bas du niveau le plus haut

D_{HE} Différence de hauteur entre les niveaux extrêmes de l'établissement

La terminologie dans ces tableaux synthétiques peut différer de la terminologie exacte utilisée dans les textes réglementaires



Il convient de se reporter impérativement aux textes réglementaires applicables à la date du projet pour définir avec précision les exigences s'appliquant à l'ouvrage

BATIMENTS DE BUREAUX

Les exigences pour ces bâtiments sont fixées par **le code du travail**.

BUREAUX	RESISTANCE AU FEU	
	PLANCHER	STRUCTURE
$H_{pb} \leq 8 \text{ M}$	-	-
$8 \text{ M} < H_{pb} \leq 28 \text{ M}$	REI 60	R 60

INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les exigences ci-après concernent des locaux relevant du régime de l'enregistrement au titre d'une des différentes rubriques détaillées en annexe à l'article R51169 du code de l'environnement.

Le texte réglementaire fixant les exigences de résistance au feu pour ces bâtiments est listé dans le tableau.

TEXTE REGLEMENTAIRE	DESIGNATION	EXIGENCE	EXIGENCE COMPLEMENTAIRE
ENTREPOTS COUVERTS ($5\,000 \text{ m}^3 \leq \text{VOLUME} < 50\,000 \text{ m}^3$) – RUBRIQUE N° 1510			
ARRETE DU 23 DECEMBRE 2008 MODIFIE	ENSEMBLE DE LA STRUCTURE	R 15	En outre, la ruine d'un élément ne doit pas entraîner la ruine en chaîne de la structure du bâtiment
	PLANCHERS HAUTS (HORS MEZZANINES)	REI 120	
ENTREPOTS COUVERTS ($50\,000 \text{ m}^3 \leq \text{VOLUME} < 300\,000 \text{ m}^3$) – RUBRIQUE N° 1510			
ARRETE DU 15 AVRIL 2010	ENSEMBLE DE LA STRUCTURE	R 15	En outre, la ruine d'un élément ne doit pas entraîner la ruine en chaîne de la structure du bâtiment
	STRUCTURE D'ENTREPOTS A SIMPLE RDC > 12,50M DE HAUTEUR AU FAITAGE.	R 60	Sauf si le bâtiment est doté d'un dispositif d'extinction automatique d'incendie
	PLANCHERS (HORS MEZZANINES) DES ENTREPOTS A DEUX NIVEAUX OU PLUS	REI 120	Structures de plancher R 120 au moins
ENTREPOTS COUVERTS ($\text{VOLUME} \geq 300\,000 \text{ m}^3$) – RUBRIQUE N° 1510			
ARRETE DU 23 DECEMBRE 2008 MODIFIE	ENTREPOTS A SIMPLE RDC > 12,50M DE HAUTEUR AU FAITAGE.	R 60	Sauf si le bâtiment est doté d'un dispositif d'extinction automatique d'incendie
	STRUCTURE D'ENTREPOTS \geq DEUX NIVEAUX	R 60	Si $H_{pb} > 8 \text{ M}$
	PLANCHER D'ENTREPOTS \geq NIVEAUX	REI 120	
STOCKAGE BOIS OU MATERIAUX COMBUSTIBLES ANALOGUES – RUBRIQUE N° 1532			
ARRETE DU 11 SEPTEMBRE 2013	QUELLE QUE SOIT LA HAUTEUR	R 15	Pour l'ensemble de la structure
	DEPOTS A SIMPLE REZ-DE-CHAUSSEE DE PLUS DE 12,50M DE HAUTEUR AU FAITAGE.	R 60	Sauf si le bâtiment est doté d'un dispositif d'extinction automatique d'incendie
	PLANCHERS (HORS MEZZANINES) DES STOCKAGES A DEUX NIVEAUX OU PLUS	REI 120	Pour les planchers
ATELIERS OU L'ON TRAVAILLE LE BOIS OU DES MATERIAUX COMBUSTIBLES ANALOGUES – RUBRIQUE N° 2410			
ARRETE DU 2 SEPTEMBRE 2014	LOCAUX DE STRUCTURE FERMEE SUR 100% DE SON PERIMETRE	R 60	Murs extérieurs porteurs ou systèmes poteaux-poutres
		REI 60	Planchers / Sol
	AUTRES LOCAUX ET BATIMENTS	R 30	Murs extérieurs porteurs ou systèmes poteaux-poutres
		REI 30	Planchers / Sol
BATIMENTS OU SONT APPLIQUES : VERNIS, PEINTURE, APPRET, COLLE, ENDUIT, ..., SUR SUPPORT QUELCONQUE – RUBRIQUE N° 2940			
ARRETE DU 2 MAI 2002 MODIFIE	HAUTEUR SOUS PIED DE FERME $\leq 8 \text{ M}$	R 30	Ossature verticale et charpente de toiture
	HAUTEUR SOUS PIED DE FERME > 8M OU PRESENCE D'UN PLANCHER HAUT /MEZZANINE	R 60	Ossature verticale et charpente de toiture
		REI 60	Plancher haut ou mezzanine

La terminologie dans ces tableaux synthétiques peut différer de la terminologie exacte utilisée dans les textes réglementaires

METHODES SIMPLES

INTRODUCTION

Les méthodes simples présentées dans la section ci-après ont pour objectif de permettre une vérification simple des assemblages par organes de fixation de type tige de structures bois en situation incendie, dans une application stricte des principes de l'Eurocode 5.

Les méthodes simples sont développées à partir de la méthode simplifiée du §6.2.1 de la NF EN 1995-1-2, et sont utiles lorsque l'on souhaite **s'assurer a priori de la durée de résistance au feu sans avoir recours à une quelconque vérification numérique, et sans connaître le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale), ceci par l'application de solutions forfaitaires progressives :**

- Pour 15 minutes (R15) : simples exigences dimensionnelles ;
- Passage à 30 minutes (R30) : par augmentation de section des bois ou par protection rapportée ;
- Passage à 60 minutes (R60) : par protection rapportée

Sont d'abord présentées l'articulation de ces solutions, leur cadre de validité, ainsi que les dispositions communes liées aux protections rapportées et à la protection des têtes de boulons (systématiquement nécessaire pour 30 minutes et plus).

Les méthodes simples sont ensuite présentées par degré de résistance au feu visé (15, 30 ou 60 minutes) et par type d'organe de fixation (pointes, vis et tirefonds, boulons ou broches). Pour chaque durée, un complément concernant les plaques métalliques en âme des assemblages bois-métal est donné indépendamment du type d'organe de fixation.

Ces méthodes **ne sont valides que dans les limites du domaine d'application du présent guide (cf. §1.1) et celles précisées dans la présente section. La durée de résistance au feu maximale qui peut être justifiée à l'aide de ces méthodes peut aller jusqu'à 60 minutes.**

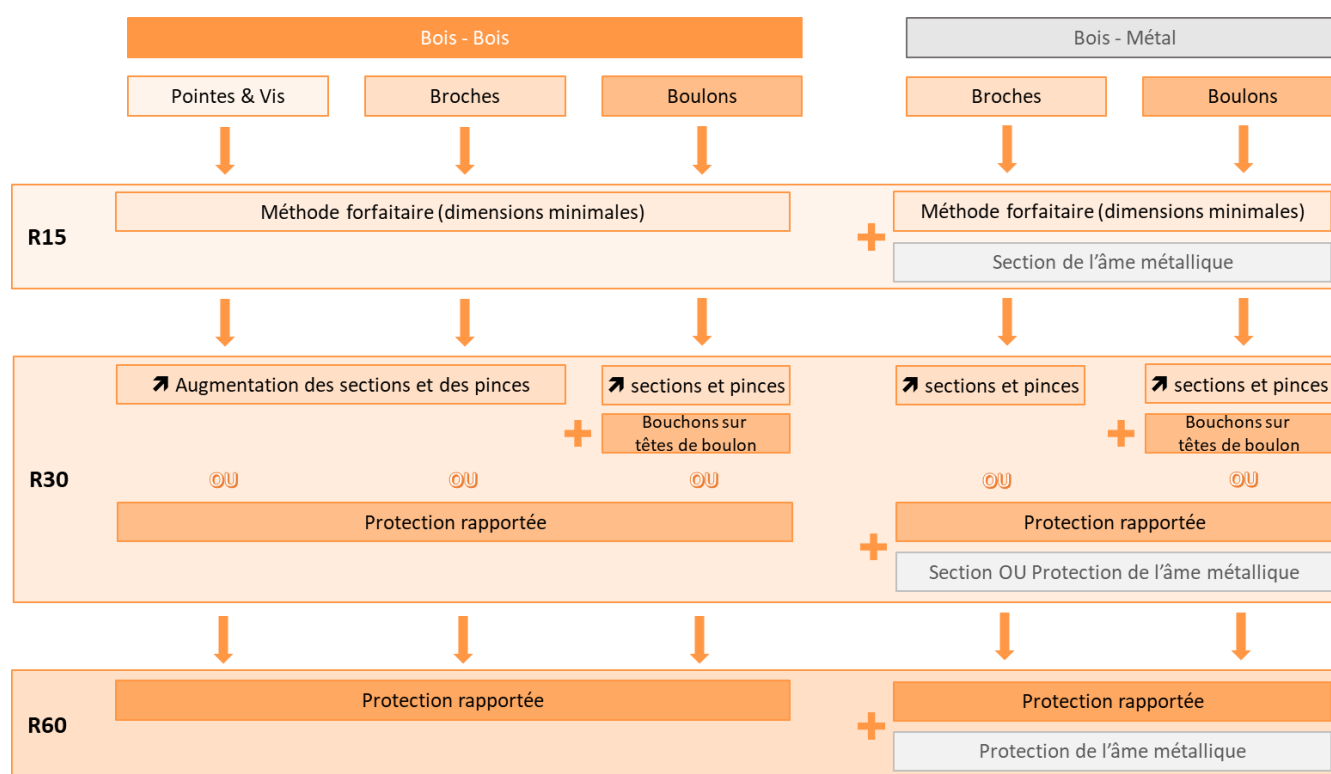
Si vous souhaitez savoir comment ont été établies ces méthodes simples, vous trouverez ces informations dans la 4^{ème} section du document intitulée « **Méthodologie** »

2.1. PRINCIPE DES METHODES SIMPLES

PRINCIPE

Les méthodes simples sont développées à partir de la méthode simplifiée du §6.2.1 de la NF EN 1995-1-2, et sont utiles lorsque l'on souhaite **s'assurer a priori de la durée de résistance au feu sans avoir recours à une quelconque vérification numérique, et sans connaître le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale), ceci par l'application de solutions forfaitaires**. Ces méthodes forfaitaires permettent les approches suivantes :

- Le degré de résistance de 15 minutes est atteint par le respect d'exigences de dimensions minimales des organes et/ou des pièces de bois assemblées ;
- Les degrés de résistance de 30 et 60 minutes sont atteints à partir de la section satisfaisante au degré R15 :
 - par augmentation forfaitaire des sections de bois et des pinces, ou
 - en protégeant l'assemblage au moyen d'une protection adaptée.
- Les assemblages bois-métal par plaque métallique en âme sont traités selon une approche forfaitaire similaire.



CADRE DE VALIDITE

COMPOSANTS DE L'ASSEMBLAGE

- ORGANES D'ASSEMBLAGE

Type d'organe	Pointes	Vis et tirefonds	Broches et boulons
Diamètre d [mm]	$d \geq 2,8$ mm	$d \geq 3,5$ mm	$12 \text{ mm} \leq d \leq 24 \text{ mm}$
- PIECES DE BOIS : bois massif, lamellé-collé ou lamibois (LVL) d'épaisseur minimale $t_{1,min} \geq 45$ mm
- ASSEMBLAGES PAR BROCHES : il convient d'ajouter un **boulon de serrage pour quatre broches** afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie
- PLAQUES METALLIQUES EN AME : Acier S235 ou supérieur – épaisseur $t_p \geq 2$ mm – ne dépassant pas des pièces de bois

PROTECTIONS RAPPORTEES

L'ajout de protections au droit de l'assemblage permet d'augmenter la durée de résistance au feu. Les protections sont une **alternative à l'augmentation de section et des pinces pour atteindre un degré de résistance de 30 minutes**. Elles sont **systématiquement nécessaires pour atteindre un degré de résistance de 60 minutes**.

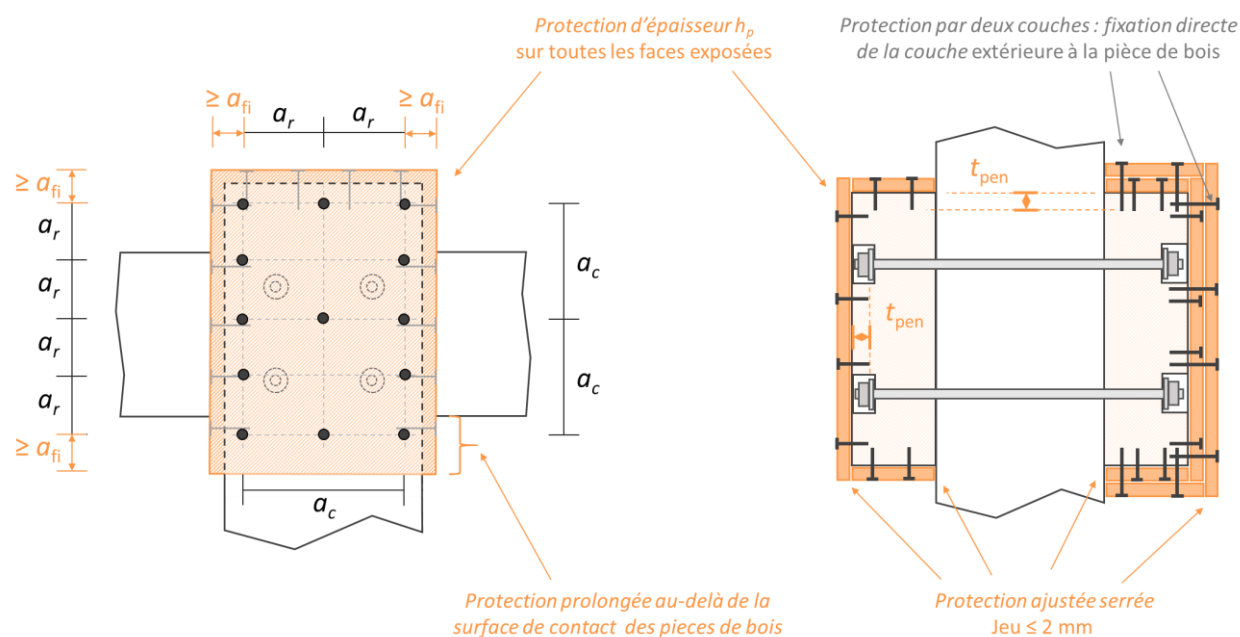
Le présent guide couvre les solutions de protection réalisées au moyen de :

- Panneautage bois rapporté : bois massif, lamellé-collé ou lamibois (LVL) (*)
- Panneaux à base de bois (*) :
 - Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300
 - Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312)
 - MDF selon NF EN 622-5
 - Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400 \text{ kg/m}^3$
- Plaques de plâtre de type A ou H (standard) ou de type F (Feu).

(*) *panneautage ou panneaux non revêtus ou dont le revêtement ne dégrade pas le classement en réaction au feu D-s₂d₀*

Afin d'atteindre le degré de résistance recherché, la protection choisie doit être réalisée et fixée dans le respect des dispositions suivantes (dimensions illustrées dans la figure ci-dessous) :

- la protection doit couvrir chacune des faces exposées au feu (il peut donc être nécessaire de couvrir aussi bien la largeur que l'épaisseur et l'extrémité des pièces de bois) ;
- la protection doit couvrir *a minima* la surface de contact entre les pièces de bois assemblées ;
- la protection doit être ajustée serrée afin d'éviter les jeux ou interstices de plus de 2 mm ;
- les fixations de la protection sont réalisées par pointes ou par vis et respectent les règles suivantes :
 - la profondeur de pénétration à froid t_{pen} des fixations de diamètre d est d'au moins $6.d$ – cette exigence est portée à une pénétration résiduelle de 10 mm dans la partie non carbonisée pour les plaques de plâtre de type F « feu » (cette exigence est décrite de manière détaillée dans les tableaux correspondants) ;
 - l'espacement entre fixations en rive a_r ne doit pas excéder 100 mm ;
 - l'espacement entre fixations en partie centrale a_c ne doit pas excéder 300 mm ;
 - les pinces sont supérieures ou égales à la dimension a_{fi} donnée dans les tableaux correspondants ;
- si la protection est composée de plusieurs couches, chaque couche est fixée individuellement directement à la pièce de bois (la fixation d'une couche sur l'autre n'est pas permise), en respectant des espacements identiques

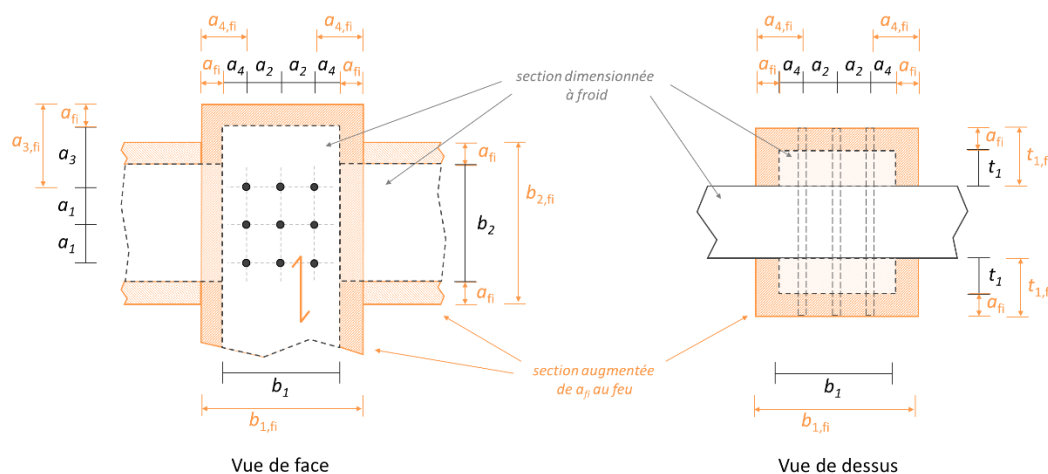


PRINCIPE DE L'AUGMENTATION DES SECTIONS DE BOIS ET DES PINCES

Un degré supérieur de résistance au feu peut être atteint par augmentation de la section des pièces de bois au moyen d'une surcote a_{fi} ajoutée :

- à l'épaisseur t_1 (et le cas échéant t_2) des pièces latérales $t_{1,fi} = t_1 + a_{fi}$
- à la largeur b_1 (et le cas échéant b_2) des pièces latérales $b_{1,fi} = b_1 + a_{fi}$
- aux pincés minimaux de l'assemblage selon NF EN 1995-1-1, §8 $a_{3,fi} = a_3 + a_{fi}$ et $a_{4,fi} = a_4 + a_{fi}$

étant entendu que la largeur définitive de la pièce de bois est la plus grande valeur entre $b_{1,fi}$ et b_1 augmentée pour tenir compte des pincés augmentés $a_{3,fi}$ et $a_{4,fi}$.



2.2. RESISTANCE DE 15 MINUTES (R15)

METHODE FORFAITAIRE SANS PROTECTION

ASSEMBLAGE BOIS-BOIS

Le degré de résistance de 15 minutes est atteint de manière forfaitaire par le respect d'exigences de dimensions minimales des organes et/ou des pièces de bois assemblées décrites dans le tableau ci-dessous.

R15	Type d'organe	Diamètre d de l'organe	Epaisseur t_2 des pièces de bois
	Pointes	$d \geq 2,8 \text{ mm}$	-
	Vis et tirefonds	$d \geq 3,5 \text{ mm}$	
	Boulons	-	$t_1 \geq 45 \text{ mm}$
Broches ⁽¹⁾			

⁽¹⁾ Ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie.

ASSEMBLAGE BOIS-METAL

En complément des exigences forfaitaires du tableau ci-dessus, il convient de vérifier que la plaque métallique en âme d'épaisseur t_p , selon sa configuration, respecte également les exigences suivantes :

R15	Configuration	Plaque métallique	Epaisseur	Protection des rives	Exigence R15
		ne dépassant pas la surface du bois	$t_p \geq 2 \text{ mm}$	Rives non protégées	$b_p \geq 200 \text{ mm}$
				Au moins une rive protégée	$b_p \geq 120 \text{ mm}$
	plus étroite que l'élément en bois	$t_p \leq 3 \text{ mm}$	Par des interstices de profondeur d_g	$d_g \geq 20 \text{ mm}$	

2.3. RESISTANCE DE 30 MINUTES (R30)

Le degré de résistance de 30 minutes est atteint à partir de la méthode forfaitaire permettant d'atteindre le degré R15 :

- soit par augmentation forfaitaire des sections de bois et des pinces ;
 - ⇒ cette solution est utile notamment lorsque les contraintes esthétiques ne permettent pas d'ajout de protections, mais engendre une augmentation du volume total du bois qui peut être importante
- soit en protégeant l'assemblage au moyen d'une protection adaptée (voir page 15).
 - ⇒ cette solution est la plus rationnelle d'un point de vue économique puisqu'elle concentre l'ajout de matière sur la seule zone de l'assemblage, mais est difficilement adaptée à des contraintes esthétiques.

PAR AUGMENTATION FORFAITAIRE DES SECTIONS DE BOIS ET DES PINCES

ASSEMBLAGE BOIS-BOIS

Le degré de résistance de 30 minutes peut être atteint de manière forfaitaire par **le respect d'exigences de dimensions minimales des organes et/ou des pièces de bois assemblées du degré de résistance R15 complété par l'augmentation de la section des pièces de bois et des pinces au moyen de la surcote α_{fi} .**

Le tableau ci-dessous indique la surcote α_{fi} selon le type d'organe et la nature des pièces de bois assemblées :

R30 [α_{fi}]	Type d'organe	BOIS MASSIF		LAMELLE-COLLE		LAMIBOIS (LVL)
		Résineux et Hêtre	Feuillus (sauf Hêtre)	Résineux et Hêtre	Feuillus (sauf Hêtre)	
	Pointes	18,0 mm	12,5 mm	16,0 mm	12,5 mm	16,0 mm
	Vis et tirefonds					
	Boulons					
	Broches ⁽¹⁾	12,0 mm	8,5 mm	10,5 mm	8,5 mm	10,5 mm

⁽¹⁾ Il convient d'ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie. Si la capacité des boulons de serrage a été prise en compte dans la capacité de l'assemblage, la surcote α_{fi} pour les boulons s'applique. Dans le cas contraire, les valeurs plus favorables pour les broches sont applicables.



Les têtes des pointes, vis, tirefonds et broches doivent être non dépassantes. Les têtes de boulons doivent être protégées par des bouchons d'épaisseur α_{fi} .

ASSEMBLAGE BOIS-METAL

En complément des exigences forfaitaires du tableau ci-dessus, il convient de vérifier que la plaque métallique en âme d'épaisseur t_p , selon sa configuration, respecte également les exigences suivantes :

R30 [α_{fi}]	Configuration	Plaque métallique	Epaisseur	Protection des rives	Exigence R30
		ne dépassant pas la surface du bois		$t_p \geq 2 \text{ mm}$	Rives non protégées
Au moins une rive protégée					$b_p \geq 120 \text{ mm}$
	plus étroite que l'élément en bois		$t_p \leq 3 \text{ mm}$	Par des interstices de profondeur d_g	$d_g \geq 20 \text{ mm}$


PAR PROTECTION DES ELEMENTS ASSEMBLES

ASSEMBLAGE BOIS-BOIS

Le degré de résistance de 30 minutes peut être atteint de manière forfaitaire par le respect d'exigences de dimensions minimales des organes et/ou des pièces de bois assemblées du degré de résistance R15 complété par l'ajout d'une protection adaptée selon le type d'organe et de protection choisie, réalisée et fixée dans le respect des dispositions communes décrites précédemment et des dispositions spécifiques complémentaires ci-dessous.

La protection doit couvrir *a minima* la surface de contact entre les pièces de bois assemblées (voir aussi page 15).

Le tableau suivant indique les solutions adaptées au moyen de produits courants du commerce, et précise la profondeur de pénétration des fixations selon le type de solution et de pièce de bois, ainsi que la valeur de a_{fi} définissant les pinces minimales pour les fixations de la protection, quelles que soient ces protections.

R30 [protection]	Type d'organe	PANNEAUX A BASE DE BOIS (*)			PLAQUES DE PLATRE		BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Résineux et Hêtre LAMIBOIS (LVL)	BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Feuillus (sauf Hêtre)
		OSB (1)	Panneau de particules (2)	Contreplaqué (3)	Type A ou H	Type F (5) « Feu »		
	Pointes	22 mm	19 mm	25 mm	BA 15	BA 13 Feu	$h_p \geq 15,0$ mm	$h_p \geq 12,0$ mm
	Vis et tirefonds						$a_{fi} = 18,0$ mm	$a_{fi} = 12,5$ mm
	Boulons							
	Broches (4)	18 mm	18 mm	22 mm	BA 13	BA 13 Feu	$h_p \geq 13,0$ mm	$h_p \geq 10,0$ mm
							$a_{fi} = 12,0$ mm	$a_{fi} = 8,5$ mm
	t_{pen} (6) [mm]	6.d					6.d	
							$t_{pen} = 22$ mm	$t_{pen} = 19$ mm

(*) Panneaux non revêtus (cf. page 15)

(1) Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300

(2) Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312). S'applique également au MDF (NF EN 622-5).

(3) Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400$ kg/m³.

(4) Ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie.

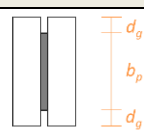
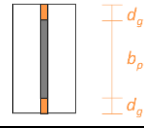
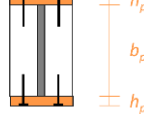
(5) La profondeur de pénétration t_{pen} pour les fixations d'une plaque de plâtre type F « feu » dépend de la pièce de bois protégée. Elle permet d'assurer une pénétration résiduelle d'au moins 10 mm dans la partie non carbonisée.



Les têtes de boulons doivent être intégralement protégées par la protection d'épaisseur h_p .

ASSEMBLAGE BOIS-METAL

En complément des exigences forfaitaires du tableau ci-dessus, il convient de vérifier que la plaque métallique en âme d'épaisseur t_p , selon sa configuration, respecte également les exigences suivantes :

R30 [protection]	Configuration	Plaque métallique	Epaisseur	Protection des rives	Exigence R30
		plus étroite que l'élément en bois	$t_p \leq 3$ mm	Par des interstices de profondeur d_g	$d_g \geq 20$ mm
			$t_p \geq 2$ mm	Par des bandes collées	$d_g \geq 10$ mm
				Par des panneaux ou plaques de plâtre (1)	$h_p \geq 10$ mm (1)

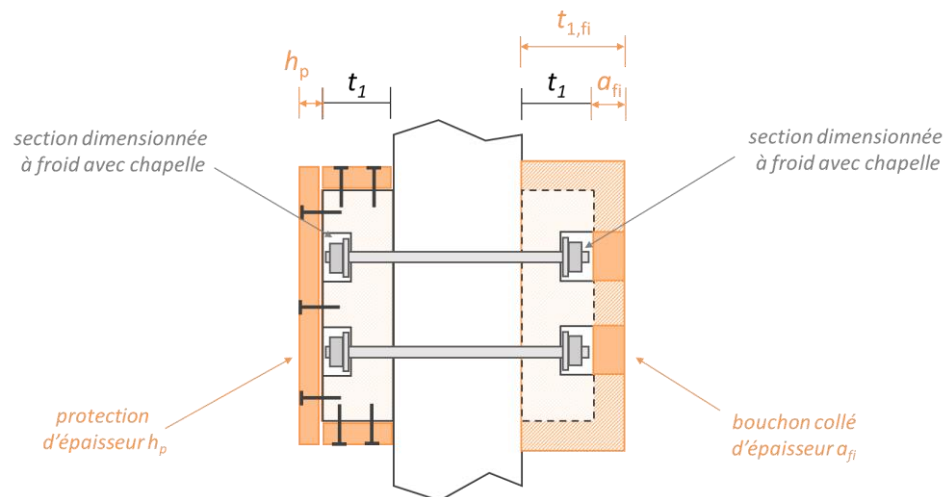
(1) Le respect des épaisseurs de protection décrite pour l'assemblage bois-bois permet de respecter automatiquement l'exigence $h_p \geq 10$ mm pour cette configuration d'assemblage bois-métal.

PROTECTION DES TETES DE BOULONS D'ASSEMBLAGES BOULONNES

Dans le cas d'assemblages boulonnés, ou lorsque les boulons de serrage des assemblages brochés ont été pris en compte dans la résistance à froid de l'assemblage, les têtes de boulons doivent être :

- soit protégées par des bouchons d'épaisseur a_{fi} ;
- soit intégralement protégés par le panneau d'épaisseur h_p .

Afin d'éviter une surépaisseur supplémentaire, ceci peut être anticipé en dimensionnant dès le départ l'assemblage boulonné à froid avec une chapelle assurant que la tête de boulon soit à fleur de la face de la pièce de bois.



2.4. RESISTANCE DE 60 MINUTES (R60)

Le degré de résistance de 60 minutes est atteint à partir de la méthode forfaitaire permettant d'atteindre le degré R15 en protégeant l'assemblage au moyen d'une protection adaptée.

NOTE : L'Eurocode 5 ne permet pas d'étendre la justification forfaitaire par augmentation des section et pinces au-delà de 30 minutes. La combinaison d'une augmentation de section pour atteindre 30 minutes et d'une protection rapportée pour atteindre les 30 minutes supplémentaires est inintéressante à la fois d'un point de vue économique et d'un point de vue de la mise en œuvre.


PAR PROTECTION DES ELEMENTS ASSEMBLES

ASSEMBLAGE BOIS-BOIS

Le degré de résistance de 30 minutes peut être atteint de manière forfaitaire par le respect d'exigences de dimensions minimales des organes et/ou des pièces de bois assemblées du degré de résistance R15 complété par l'ajout d'une protection adaptée selon le type d'organe et de protection choisie, réalisée et fixée dans le respect des dispositions communes décrites précédemment et des dispositions spécifiques complémentaires ci-dessous.

La protection doit couvrir *a minima* la surface de contact entre les pièces de bois assemblées (voir aussi page 15).

Le tableau suivant indique les solutions adaptées au moyen de produits courants du commerce, et précise la profondeur de pénétration des fixations selon le type de solution et de pièce de bois, ainsi que la valeur de a_{fi} définissant les pinces minimales pour les fixations de la protection, quelles que soient ces protections.

R60 [protection]	Type d'organe	PANNEAUX A BASE DE BOIS (*)			PLAQUES DE PLATRE		BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Résineux et Hêtre LAMIBOIS (LVL)	BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Feuillus (sauf Hêtre)
		OSB (1)	Panneau de particules (2)	Contreplaqué (3)	Type A ou H	Type F (7) « Feu »		
Pointes	Vis et tirefonds	2 x 22 mm	2 x 22 mm (4)	2 x 25 mm	2 x BA 18	BA 13 Feu + BA 15 Feu (5)	$h_p \geq 35,0$ mm	$h_p \geq 27,0$ mm
	Boulons						$a_{fi} = 54,0$ mm	$a_{fi} = 37,5$ mm
	Broches (6)						2 x 22 mm	18 + 22 mm
	$t_{pen}^{(7)}$ [mm]	6.d					6.d	
				$t_{pen} = 28$ mm	$t_{pen} = 24$ mm			

(*) Panneaux non revêtus (cf. page 15)

(1) Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300

(2) Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312). S'applique également au MDF (NF EN 622-5).

(3) Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400$ kg/m³.

(4) Peut être remplacé par les configurations suivantes : 18 + 25 mm ou 3 x 16 mm.

(5) Installer de préférence le BA 13 « feu » contre la pièce de bois puis le BA 15 « feu » à l'extérieur.

(6) Ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie.

(7) La profondeur de pénétration t_{pen} pour les fixations d'une plaque de plâtre type F « feu » dépend de la pièce de bois protégée. Elle permet d'assurer une pénétration résiduelle d'au moins 10 mm dans la partie non carbonisée.



Les têtes de boulons doivent être intégralement protégées par la protection d'épaisseur h_p .

ASSEMBLAGE BOIS-METAL

En complément des exigences forfaitaires du tableau ci-dessus, il convient de vérifier que la plaque métallique en âme d'épaisseur t_p , selon sa configuration, respecte également les exigences suivantes :

R60 [protection]	Configuration	Plaque métallique	Epaisseur	Protection des rives	Exigence R60
		plus étroite que l'élément en bois	$t_p \leq 3 \text{ mm}$	Par des interstices de profondeur d_g	$b_p \geq 280 \text{ mm}$ $d_g \geq 60 \text{ mm}$
				Par des bandes collées	$d_g \geq 30 \text{ mm}$
				Par des panneaux à base de bois ^{(1) (2)}	$h_p \geq 30 \text{ mm}$

⁽¹⁾ A l'exception des protections en bois massif ou lamellé-collé de feuillus (sauf Hêtre), le respect des épaisseurs de protection décrites pour l'assemblage bois-bois permet de respecter automatiquement l'exigence $h_p \geq 30 \text{ mm}$ pour cette configuration d'assemblage bois-métal.

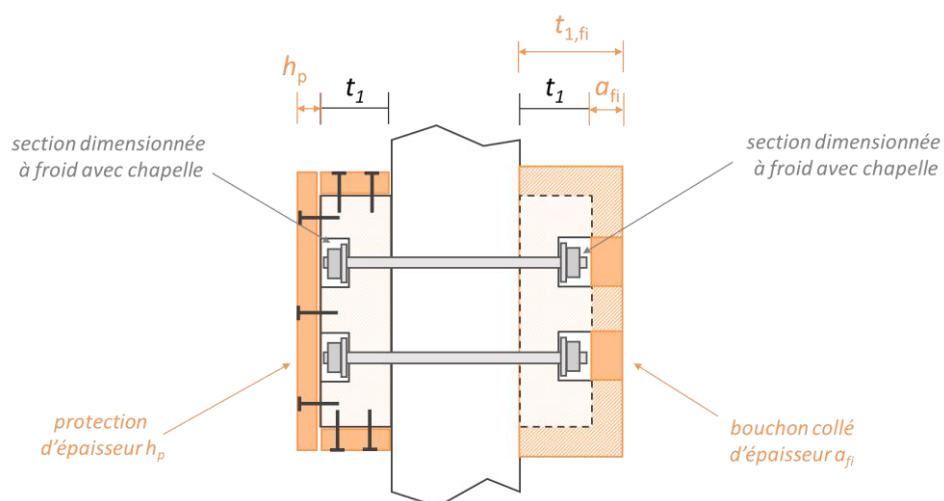
⁽²⁾ Le respect des épaisseurs de protection en plaques de plâtre décrites pour l'assemblage bois-bois permet également de respecter automatiquement l'exigence pour cette configuration d'assemblage bois-métal.

PROTECTION DES TETES DE BOULONS D'ASSEMBLAGES BOULONNES

Dans le cas d'assemblages boulonnés, ou lorsque les boulons de serrage des assemblages brochés ont été pris en compte dans la résistance à froid de l'assemblage, les têtes de boulons doivent être :

- soit protégées par des bouchons d'épaisseur a_{fi} ;
- soit intégralement protégés par le panneau d'épaisseur h_p .

Afin d'éviter une surépaisseur supplémentaire, ceci peut être anticipé en dimensionnant dès le départ l'assemblage boulonné à froid avec une chapelle assurant que la tête de boulon soit à fleur de la face de la pièce de bois.



METHODES AVANCEES

INTRODUCTION

Les méthodes avancées présentées dans la section ci-après ont pour objectif de permettre une vérification rapide mais un peu plus optimisée des assemblages par organes de fixation de type tige de structures bois en situation incendie, dans une application stricte des principes de l'Eurocode 5.

Les méthodes avancées sont développées à partir de la méthode de la charge réduite du §6.2.2 de la NF EN 1995-1-2, et sont utiles lorsque l'on souhaite **optimiser l'assemblage en situation d'incendie par rapport aux méthodes simples pour des durées de résistance de 30 ou 60 minutes et lorsque le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale) ainsi que le rapport des charges variables aux charges permanentes Q_k/G_k sont connus**, sans pour autant procéder à la vérification complète de l'assemblage selon la NF EN 1995-1-2. Là aussi **ces solutions sont progressives** :

- Pour 30 minutes (R30) : par limitation du taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (ce qui revient à augmenter le nombre d'organes de fixation) ou par protection rapportée (sans limitation) ;
- Passage à 60 minutes (R60) : par protection rapportée (sans limitation du taux de travail à froid).

Pour un degré de résistance de 15 minutes (R15), la méthode de la charge réduite n'apporte aucun bénéfice par rapport à la méthode forfaitaire. On se reportera donc au §2.2 pour les solutions pour 15 minutes de résistance.

Sont d'abord présentées l'articulation de ces solutions, leur cadre de validité, ainsi que les dispositions communes liées aux protections rapportées, ou encore une méthode approchée de détermination du rapport Q_k/G_k .

Les méthodes sont ensuite présentées par degré de résistance au feu visé (30 ou 60 minutes), pour les pointes, vis et tirefonds (assemblages bois-bois) d'une part, pour les boulons et broches (assemblages bois-bois et bois-métal) d'autre part.

Les solutions de protection sont détaillées de manière progressive, en séparant les plaques de plâtre « feu » des autres types de protection (panneautage bois, panneaux à base de bois, plaques de plâtre « standard »).

Ces méthodes **ne sont valides que dans les limites du domaine d'application du présent guide (cf. §1.1) et celles précisées dans la présente section. La durée de résistance au feu maximale qui peut être justifiée à l'aide de ces méthodes peut aller jusqu'à 60 minutes.**

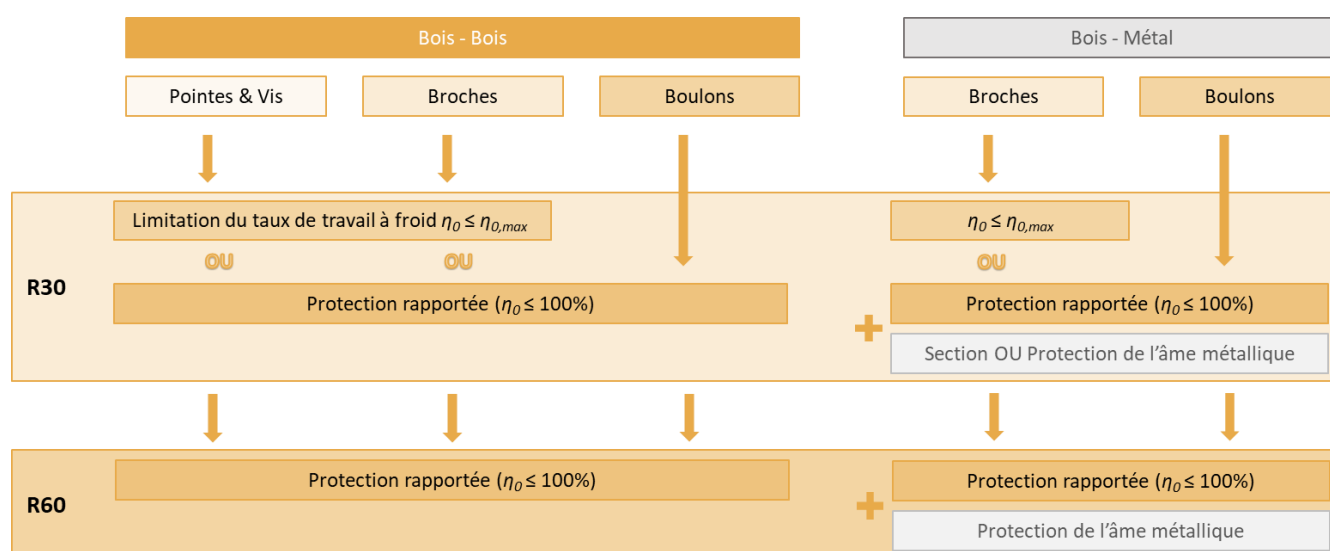
Si vous souhaitez savoir comment ont été établies ces méthodes avancées, vous trouverez ces informations dans la 4^{ème} section du document intitulée « **Méthodologie** »

3.1. PRINCIPE DES METHODES AVANCEES

PRINCIPE

Les méthodes avancées sont développées à partir de la méthode de la charge réduite du §6.2.2 de la NF EN 1995-1-2, et sont utiles lorsque l'on souhaite **optimiser l'assemblage en situation d'incendie par rapport aux méthodes simples pour des durées de résistance de 30 ou 60 minutes et lorsque le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale) ainsi que le rapport des charges variables aux charges permanentes Q_k/G_k sont connus**, sans pour autant procéder à la vérification complète de l'assemblage selon la NF EN 1995-1-2. Les méthodes avancées permettent les approches suivantes :

- il est possible de comparer le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid à une valeur maximum $\eta_{0,max}$ ne nécessitant aucune protection supplémentaire de l'assemblage ;
- lorsque le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid est supérieur à $\eta_{0,max}$, il est possible, au choix :
 - d'augmenter le nombre d'organes de l'assemblage afin d'abaisser le taux de travail η_0 pour atteindre une valeur inférieure à $\eta_{0,max}$; ou
 - de protéger l'assemblage au moyen d'une protection adaptée.



NOTE : Pour un degré de résistance de 15 minutes (R15), la méthode de la charge réduite n'apporte aucun bénéfice par rapport à la méthode forfaitaire. On se reportera donc au §2.2 pour les solutions pour 15 minutes de résistance.

CADRE DE VALIDITE

COMPOSANTS DE L'ASSEMBLAGE

- ORGANES D'ASSEMBLAGE

Type d'organe	Pointes	Vis et tirefonds	Broches et boulons
Diamètre d [mm]	$d \geq 2,8$ mm	$d \geq 3,5$ mm	$12 \text{ mm} \leq d \leq 24$ mm

- PIECES DE BOIS

bois massif, lamellé-collé ou lamibois (LVL) d'épaisseur minimale $t_{1,min}$:

Type d'organe	Pointes, vis et tirefonds	Broches et boulons – diamètre d [mm]					
		12	14	16	18	20	22
Epaisseur $t_{1,min}$ [mm]	45	50	55	60	65		

- ASSEMBLAGES PAR BROCHES il convient d'**ajouter un boulon de serrage pour quatre broches** afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie
- PLAQUES METALLIQUES EN AME Acier S235 ou supérieur – épaisseur $t_p \geq 2$ mm – ne dépassant pas des pièces de bois

RAPPORT DES CHARGES VARIABLES AUX CHARGES PERMANENTES

Les tableaux des méthodes avancées sont lus directement à partir du rapport Q_k/G_k des charges variables (Q_k) aux charges permanentes (G_k). **On retient à cet effet l'action variable principale qui génère le cas décisif.** Lorsque ce rapport n'est pas directement connu ou que le cas décisif implique une combinaison de plusieurs actions variables, ce rapport peut être déterminé de manière approchée à partir des valeurs de calcul des efforts maximum sur l'assemblage par :

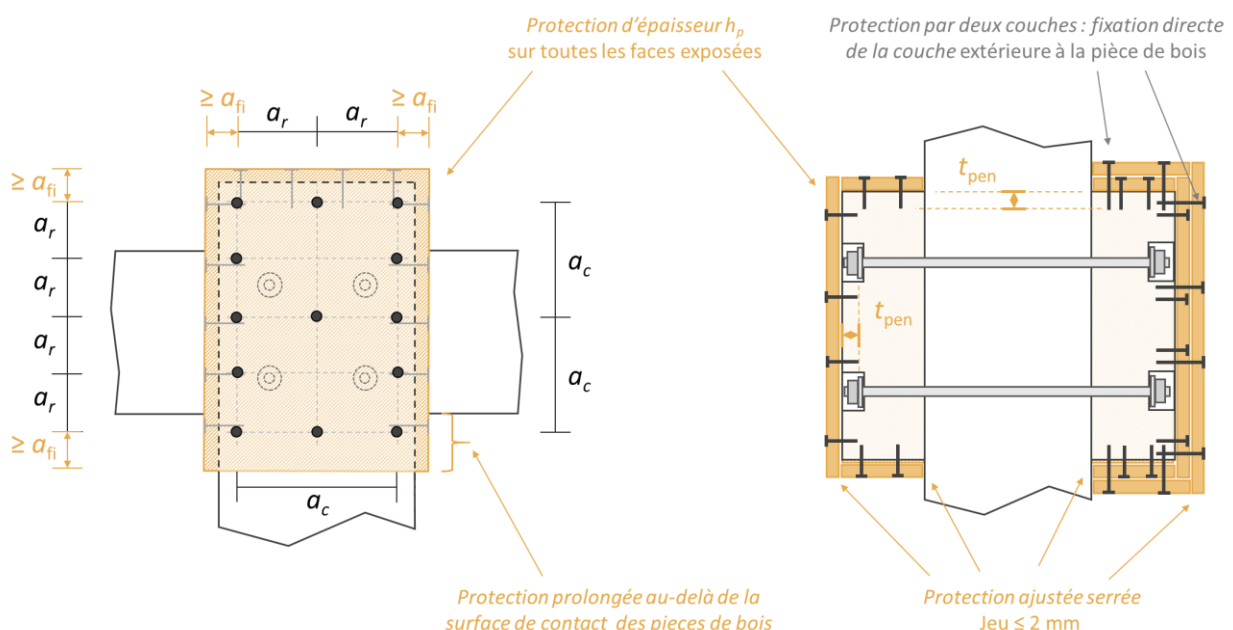
$$\frac{Q_k}{G_k} \approx \left[\frac{E_{d,[G+Q]}}{E_{d,[G]}} - 1 \right] \cdot \frac{1,35}{1,50} \quad \text{où : } \begin{array}{l} E_{d,[G]} \quad \text{l'effort pour la combinaison de poids propre seul} \\ E_{d,[G+Q]} \quad \text{pour la combinaison décisive} \end{array}$$

PROTECTIONS RAPPORTEES

L'ajout de protections au droit de l'assemblage permet d'augmenter la durée de résistance au feu. Les protections sont une **alternative au surdimensionnement de l'assemblage à froid pour atteindre un degré de résistance de 30 minutes. Elles sont systématiquement nécessaires pour atteindre un degré de résistance de 60 minutes.**

Afin d'atteindre le degré de résistance recherché, la protection choisie doit être réalisée et fixée dans le respect des dispositions suivantes (dimensions illustrées dans la figure ci-dessous – voir aussi page 15) :

- la protection doit couvrir chacune des faces exposées au feu (il peut donc être nécessaire de couvrir aussi bien la largeur que l'épaisseur et l'extrémité des pièces de bois) ;
- la protection doit couvrir *a minima* la surface de contact entre les pièces de bois assemblées ;
- la protection doit être ajustée serrée afin d'éviter les jeux ou interstices de plus de 2 mm ;
- les fixations de la protection sont réalisées par pointes ou par vis et respectent les règles suivantes :
 - la profondeur de pénétration à froid t_{pen} des fixations de diamètre d est d'au moins $6.d$ – cette exigence est portée à une pénétration résiduelle de 10 mm dans la partie non carbonisée pour les plaques de plâtre de type F « feu » (cette exigence est décrite de manière détaillée dans les tableaux correspondants) ;
 - l'espacement entre fixations en rive a_r ne doit pas excéder 100 mm ;
 - l'espacement entre fixations en partie centrale a_c ne doit pas excéder 300 mm ;
 - les pinces sont supérieures ou égales à la dimension a_{fi} donnée dans les tableaux correspondants ;
- si la protection est composée de plusieurs couches, chaque couche est fixée individuellement directement à la pièce de bois (la fixation d'une couche sur l'autre n'est pas permise), en respectant des espacements identiques



3.2. RESISTANCE DE 30 MINUTES (R30)

Le degré de résistance de 30 minutes est atteint par application de la méthode de la charge réduite de la NF EN 1995-1-2 :

- soit en s'assurant que le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid est inférieur à une valeur maximum $\eta_{0,max}$ ne nécessitant aucune protection supplémentaire de l'assemblage ;
 - ⇒ il faudra le cas échéant augmenter le nombre d'organes de l'assemblage afin d'abaisser le taux d'effort η_0 pour atteindre une valeur inférieure à $\eta_{0,max}$ (ATTENTION : le taux de travail n'est pas forcément proportionnel au nombre d'organes)
 - ⇒ cette solution est utile notamment lorsque les contraintes esthétiques ne permettent pas d'ajout de protections, mais engendre une augmentation du nombre d'organes de fixation, voire du volume total du bois qui peut être importante
- soit en protégeant l'assemblage au moyen d'une protection adaptée.
 - ⇒ cette solution est la plus rationnelle d'un point de vue économique puisqu'elle concentre l'ajout de matière sur la seule zone de l'assemblage, mais est difficilement adaptée à des contraintes esthétiques.

TAUX DE TRAVAIL $\eta_{0,max}$ MAXIMUM A FROID

Les tableaux suivants sont lus directement à partir du rapport Q_k/G_k des charges variables (Q_k) aux charges permanentes (G_k). On retient à cet effet l'action variable principale qui génère le cas décisif et sa nature : vent, neige, charge d'exploitation selon la catégorie d'usage du bâtiment, ... (voir les notes explicatives de chaque nature de charge en pied de tableau).

Les tableaux donnent en lecture directe le **taux de travail à froid η_0 maximal permettant d'atteindre une durée de résistance de 30 minutes sans protection.**

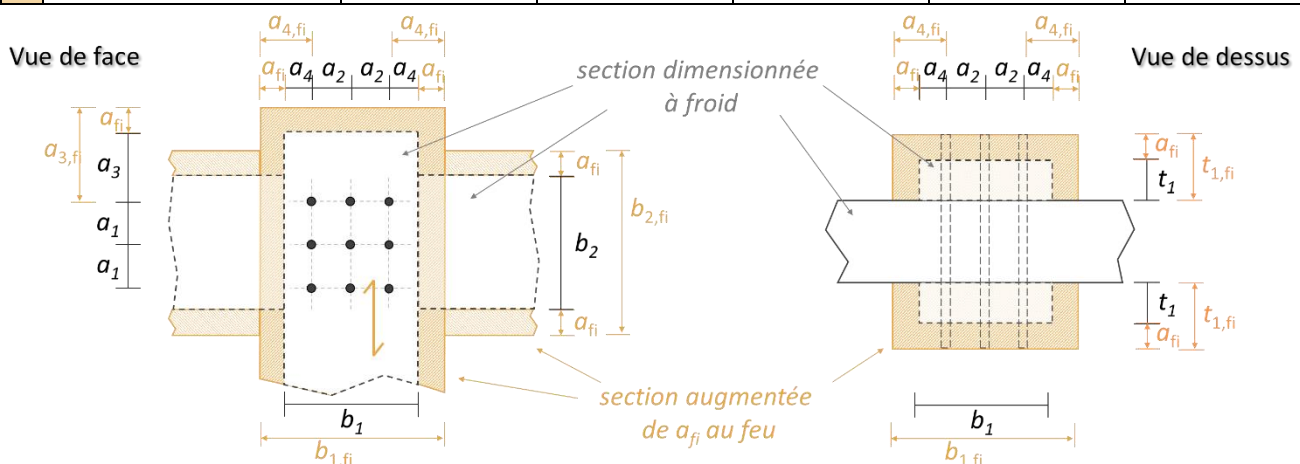
ASSEMBLAGES PAR POINTES, VIS OU TIREFONDS

BOIS - BOIS - POINTES, VIS & TIREFONDS															
R30 [$\eta_{0,max} + a_{fi}$]	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	36 %	40 %	47 %	53 %	58 %	63 %	68 %	72 %	76 %	84 %	90 %	93 %	100 %	
	Neige ⁽²⁾	44 %	49 %	58 %	65 %	71 %	77 %	83 %	88 %	93 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
	Catégorie A, B ⁽³⁾	49 %	52 %	57 %	61 %	64 %	68 %	69 %	72 %	74 %	77 %	79 %	80 %	82 %	
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾	49 %	50 %	53 %	55 %	57 %	59 %	60 %	61 %	62 %	63 %	64 %	65 %	65 %	
	Catégorie E ⁽⁵⁾	54 %	56 %	57 %	57 %	58 %	59 %	60 %	60 %	61 %	61 %	62 %	62 %	62 %	
	Poids propre	62 %													
	⁽¹⁾ Vent ou Neige accidentelle														
	⁽²⁾ Neige à moins de 1 000 m d'altitude														
	⁽³⁾ Cat. A : Habitation ; Cat. B : Bureaux ; Neige à plus de 1 000 m														
	⁽⁴⁾ Cat. C : Ecoles, lieux publics/de réunion ; Cat. D : Commerces														
	⁽⁵⁾ Cat. E : Stockage														
	⁽⁶⁾ Charges permanentes ou valeurs < 10% : prendre $\eta_{0,max} = 62 %$														



Pour les pointes, vis et tirefonds, l'Eurocode 5 limite le degré de résistance sans protection à 20 minutes. Il faut impérativement augmenter la section des pièces de bois et les pinces de la surdimension a_{fi} (cf. ci-dessous).

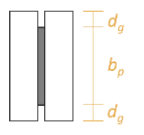
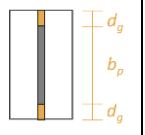
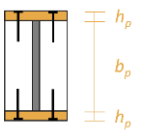
R30 [a_{fi}]	Type d'organe	BOIS MASSIF		LAMELLE-COLLE		LAMIBOIS (LVL)
		Résineux et Hêtre	Feuillus (sauf Hêtre)	Résineux et Hêtre	Feuillus (sauf Hêtre)	
	Pointes, vis et tirefonds	18,0 mm	12,5 mm	16,0 mm	12,5 mm	16,0 mm



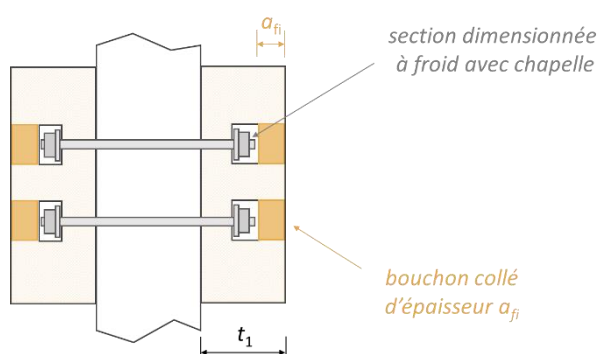
ASSEMBLAGES PAR BOULONS OU BROCHES

		BOIS - BOIS - BOULONS												
R30 [$\eta_{0,max}$]	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %
	Vent ⁽¹⁾	25 %	28 %	33 %	37 %	41 %	44 %	48 %	50 %	54 %	59 %	63 %	66 %	71 %
	Neige ⁽²⁾	31 %	35 %	41 %	46 %	50 %	54 %	58 %	62 %	66 %	72 %	77 %	80 %	87 %
	Catégorie A, B ⁽³⁾	35 %	37 %	40 %	43 %	45 %	48 %	49 %	51 %	52 %	54 %	55 %	57 %	58 %
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾	34 %	35 %	37 %	38 %	40 %	41 %	42 %	43 %	43 %	44 %	45 %	46 %	46 %
	Catégorie E ⁽⁵⁾	38 %	39 %	40 %	40 %	41 %	41 %	42 %	42 %	43 %	43 %	43 %	43 %	43 %
	Poids propre	44 %												

		BOIS - BOIS - BROCHES													
R30 [$\eta_{0,max}$]	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	54 %	60 %	71 %	80 %	87 %	94 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Neige ⁽²⁾	66 %	74 %	87 %	98 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Catégorie A, B ⁽³⁾	74 %	78 %	85 %	91 %	96 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾	73 %	75 %	79 %	82 %	85 %	88 %	89 %	91 %	92 %	94 %	96 %	98 %	98 %	
	Catégorie E ⁽⁵⁾	81 %	83 %	86 %	86 %	87 %	88 %	89 %	89 %	91 %	91 %	92 %	92 %	92 %	
	Poids propre	93 %													

		BOIS - METAL - BOULONS & BROCHES													
R30 [$\eta_{0,max}$]	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	14 %	15 %	18 %	20 %	22 %	24 %	26 %	27 %	29 %	32 %	34 %	36 %	39 %	
	Neige ⁽²⁾	17 %	19 %	22 %	25 %	27 %	29 %	32 %	34 %	36 %	39 %	42 %	44 %	47 %	
	Catégorie A, B ⁽³⁾	19 %	20 %	22 %	23 %	24 %	26 %	26 %	28 %	28 %	29 %	30 %	31 %	32 %	
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾	18 %	19 %	20 %	21 %	22 %	22 %	23 %	23 %	24 %	24 %	24 %	25 %	25 %	
	Catégorie E ⁽⁵⁾	21 %	21 %	22 %	22 %	22 %	22 %	23 %	23 %	23 %	23 %	24 %	24 %	24 %	
	Poids propre	24 %													
		⁽¹⁾ Vent ou Neige accidentelle						⁽⁴⁾ Cat. C : Ecoles, lieux publics/de réunion ; Cat. D : Commerces							
		⁽²⁾ Neige à moins de 1 000 m d'altitude						⁽⁵⁾ Cat. E : Stockage							
		⁽³⁾ Cat. A : Habitation ; Cat. B : Bureaux ; Neige à plus de 1 000 m						⁽⁶⁾ Charges permanentes ou valeurs < 10% : prendre $\eta_{0,max} = 24 %$							
		 <p>Epaisseur $t_p \leq 3 \text{ mm}$ Protection des rives par des interstices de profondeur : $d_g \geq 20 \text{ mm}$</p>			 <p>Epaisseur $t_p \geq 2 \text{ mm}$ Protection des rives par bandes collées de largeur : $d_g \geq 10 \text{ mm}$</p>			 <p>Epaisseur $t_p \geq 2 \text{ mm}$ Protection des rives par des panneaux ou plaques de plâtre d'épaisseur : $h_p \geq 10 \text{ mm}$</p>							
		Cas où la plaque métallique n'est pas plus étroite que l'élément en bois (sans la dépasser) : $t_p \geq 2 \text{ mm}$ et $b_p \geq 200 \text{ mm}$													

Assemblages par Broches : Ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie. Les taux de travail indiqués ne tiennent pas compte de la capacité de ces boulons de serrage.



Les têtes de boulons doivent être protégées par des bouchons d'épaisseur a_{fi} .

ASSEMBLAGE PROTEGE SANS LIMITE DE TAUX DE TRAVAIL A FROID

Les tableaux suivants sont lus directement à partir du rapport Q_k/G_k des charges variables (Q_k) aux charges permanentes (G_k). On retient à cet effet l'action variable principale qui génère le cas décisif et sa nature : vent, neige, charge d'exploitation selon la catégorie d'usage du bâtiment, ... (voir les notes explicatives de chaque nature de charge en pied de tableau).

Les tableaux donnent en lecture directe **la solution de protection rapportée adaptée permettant d'atteindre une durée de résistance de 30 minutes avec protection sans limitation du taux de travail à froid η_0** (qui pourra donc atteindre 100%).

ASSEMBLAGES PAR POINTES, VIS OU TIREFONDS

		BOIS - BOIS - POINTES, VIS & TIREFONDS													
		Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %
R30 [protection]	Vent ⁽¹⁾											C - F1			
	Neige ⁽²⁾											C - F1			
	Catégorie A, B ⁽³⁾	E - F1													
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾											D - F1			
	Catégorie E ⁽⁵⁾														
	Poids propre	D - F1													
		⁽¹⁾ Vent ou Neige accidentelle						⁽⁴⁾ Cat. C : Ecoles, lieux publics/de réunion ; Cat. D : Commerces							
		⁽²⁾ Neige à moins de 1 000 m d'altitude						⁽⁵⁾ Cat. E : Stockage							
		⁽³⁾ Cat. A : Habitation ; Cat. B : Bureaux ; Neige à plus de 1 000 m						⁽⁶⁾ Valeurs < 10% : prendre solution pour Charges permanentes							

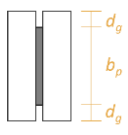
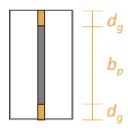
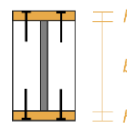
Les solutions de protection rapportée par panneautage bois, panneau à base de bois ou plaque de plâtre standard (type A ou H) sont indiquées par une lettre capitale. Les solutions rapportées par plaque de plâtre de type F « Feu » sont indiquées séparément par la lettre F suivie d'un chiffre. La nomenclature de ces solutions est précisée dans le tableau suivant.

Protection	PANNEAUX A BASE DE BOIS ^(*)			PLAQUES DE PLATRE Type A ou H	LAMIBOIS (LVL)	BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Résineux et Hêtre	BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Feuillus (sauf Hêtre)
	OSB ⁽¹⁾	Panneau de particules ⁽²⁾	Contreplaqué ⁽³⁾				
A	15 mm	16 mm	18 mm	BA 13	$h_p \geq 11$ mm	$h_p \geq 11$ mm	$h_p \geq 8$ mm
B	16 mm	16 mm	22 mm	BA 13	$h_p \geq 12$ mm	$h_p \geq 12$ mm	$h_p \geq 9$ mm
C	18 mm	18 mm	22 mm	BA 13	$h_p \geq 14$ mm	$h_p \geq 14$ mm	$h_p \geq 11$ mm
D	22 mm	19 mm	25 mm	BA 15	$h_p \geq 16$ mm	$h_p \geq 16$ mm	$h_p \geq 12$ mm
E	22 mm	22 mm	25 mm	BA 15	$h_p \geq 17$ mm	$h_p \geq 17$ mm	$h_p \geq 13$ mm
^(*) Panneaux non revêtus (cf. page 15)							
⁽¹⁾ Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300							
⁽²⁾ Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312). S'applique également au MDF (NF EN 622-5).							
⁽³⁾ Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400$ kg/m ³ .							
t_{pen} [mm]	6.d						
PLAQUES DE PLATRE Type F « Feu »							
Protection	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
	BA 13 Feu	BA 15 Feu	BA 18 Feu ⁽⁴⁾	BA 13 Feu + BA 15 Feu ⁽⁵⁾	2 x BA 15 Feu ⁽⁶⁾	BA 13 Feu + BA 18 Feu ⁽⁷⁾	
⁽⁴⁾ Peut être remplacé par les configurations suivantes : 2 x BA 13 Feu							
⁽⁵⁾ Installer impérativement la plaque la moins épaisse contre la pièce de bois puis le BA 15 à l'extérieur.							
⁽⁶⁾ Peut être remplacé par les configurations suivantes : BA 18 Feu + BA 13 Feu							
⁽⁷⁾ Installer impérativement la plaque la moins épaisse contre la pièce de bois puis le BA 18 à l'extérieur.							
⁽⁸⁾ La profondeur de pénétration t_{pen} pour les fixations d'une plaque de plâtre type F « feu » dépend de la pièce de bois protégée. Elle permet d'assurer une pénétration résiduelle d'au moins 10 mm dans la partie non carbonisée.							
t_{pen} ⁽⁸⁾ Résineux et Hêtre ou LVL	22 mm	13 mm		10 mm			
t_{pen} ⁽⁸⁾ Feuillus (sauf Hêtre)	19 mm	12 mm		10 mm			

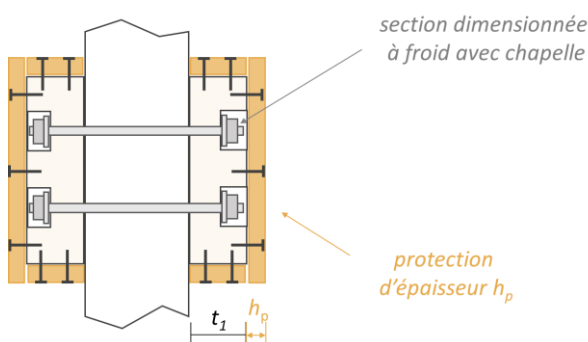
ASSEMBLAGES PAR BOULONS OU BROCHES

R30 [protection]	BOIS - BOIS - BOULONS														
	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	E - F1							C - F1			B - F1			
	Neige ⁽²⁾								C - F1			B - F1			
	Catégorie A, B ⁽³⁾														
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾				D - F1										
	Catégorie E ⁽⁵⁾														
Poids propre															

R30 [protection]	BOIS - BOIS - BROCHES													
	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %
	Vent ⁽¹⁾	D - F1		C - F1		B - F1		A - F1						
	Neige ⁽²⁾	C - F1				A - F1								
	Catégorie A, B ⁽³⁾	C - F1				A - F1								
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾	C - F1						B - F1			A - F1			
	Catégorie E ⁽⁵⁾	C - F1						B - F1			A - F1			
Poids propre	A - F1													

R30 [protection]	BOIS - METAL - BOULONS & BROCHES													
	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %
	Vent ⁽¹⁾	E - F2						D - F1			C - F1			
	Neige ⁽²⁾							D - F1						
	Catégorie A, B ⁽³⁾							D - F1						
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾			E - F1										
	Catégorie E ⁽⁵⁾													
Poids propre	D - F1													
⁽¹⁾ Vent ou Neige accidentelle ⁽²⁾ Neige à moins de 1 000 m d'altitude ⁽³⁾ Cat. A : Habitation ; Cat. B : Bureaux ; Neige à plus de 1 000 m ⁽⁴⁾ Cat. C : Ecoles, lieux publics/de réunion ; Cat. D : Commerces ⁽⁵⁾ Cat. E : Stockage ⁽⁶⁾ Valeurs < 10% : prendre solution pour Charges permanentes														
 Epaisseur $t_p \leq 3 \text{ mm}$ Protection des rives par des interstices de profondeur : $d_g \geq 20 \text{ mm}$		 Epaisseur $t_p \geq 2 \text{ mm}$ Protection des rives par bandes collées de largeur : $d_g \geq 10 \text{ mm}$		 Epaisseur $t_p \geq 2 \text{ mm}$ Protection des rives par une des solutions listées (avec $h_p \geq 10 \text{ mm}$ pour un panneautage bois en Feuillus).										
Cas où la plaque métallique n'est pas plus étroite que l'élément en bois (sans la dépasser) : $t_p \geq 2 \text{ mm}$ et $b_p \geq 200 \text{ mm}$														

Assemblages par Broches : Ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie. Les taux de travail indiqués ne tiennent pas compte de la capacité de ces boulons de serrage.





Les têtes de boulons doivent être intégralement protégées par la protection d'épaisseur h_p .

3.3. RESISTANCE DE 60 MINUTES (R60)

ASSEMBLAGE PROTEGE SANS LIMITE DE TAUX DE TRAVAIL A FROID

Les tableaux suivants sont lus directement à partir du rapport Q_k/G_k des charges variables (Q_k) aux charges permanentes (G_k). On retient à cet effet l'action variable principale qui génère le cas décisif et sa nature : vent, neige, charge d'exploitation selon la catégorie d'usage du bâtiment, ... (voir les notes explicatives de chaque nature de charge en pied de tableau).

Les tableaux donnent en lecture directe **la solution de protection rapportée adaptée permettant d'atteindre une durée de résistance de 60 minutes avec protection sans limitation du taux de travail à froid η_0** (qui pourra donc atteindre 100%).

ASSEMBLAGES PAR POINTES, VIS OU TIREFONDS

		BOIS - BOIS - POINTES, VIS & TIREFONDS													
		Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %
R60 [protection]	Vent ⁽¹⁾	K - F6				J - F5									
	Neige ⁽²⁾													I - F4	
	Catégorie A, B ⁽³⁾	K - F5	J - F5												
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾				J - F5			J - F4							
	Catégorie E ⁽⁵⁾	J - F5													
	Poids propre	J - F4													
		⁽¹⁾ Vent ou Neige accidentelle					⁽⁴⁾ Cat. C : Ecoles, lieux publics/de réunion ; Cat. D : Commerces								
		⁽²⁾ Neige à moins de 1 000 m d'altitude					⁽⁵⁾ Cat. E : Stockage								
		⁽³⁾ Cat. A : Habitation ; Cat. B : Bureaux ; Neige à plus de 1 000 m					⁽⁶⁾ Valeurs < 10% : prendre solution pour Charges permanentes								

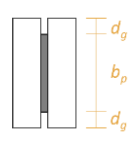
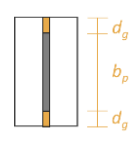
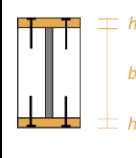
Les solutions de protection rapportée par panneau bois, panneau à base de bois ou plaque de plâtre standard (type A ou H) sont indiquées par une lettre capitale. Les solutions rapportées par plaque de plâtre de type F « Feu » sont indiquées séparément par la lettre F suivie d'un chiffre. La nomenclature de ces solutions est précisée dans le tableau suivant.

Protection	PANNEAUX A BASE DE BOIS ^(*)			PLAQUES DE PLATRE Type A ou H	LAMIBOIS (LVL)	BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Résineux et Hêtre	BOIS MASSIF, LAMELLE-COLLE Feuillus (sauf Hêtre)
	OSB ⁽¹⁾	Panneau de particules ⁽²⁾	Contreplaqué ⁽³⁾				
G	2 x 22 mm	2 x 19 mm	22 + 25 mm	BA13 + BA18 ⁽⁴⁾	33 mm	$h_p \geq 31$ mm	$h_p \geq 24$ mm
H	2 x 22 mm	18 + 22 mm	22 + 25 mm	BA15 + BA18 ⁽⁴⁾	33 mm	$h_p \geq 33$ mm	$h_p \geq 25$ mm
I	2 x 22 mm	19 + 22 mm	2 x 25 mm	2 x BA18	39 mm	$h_p \geq 34$ mm	$h_p \geq 26$ mm
J	2 x 22 mm	2 x 22 mm		2 x BA18	39 mm	$h_p \geq 36$ mm	$h_p \geq 27$ mm
K	2 x 22 mm	2 x 22 mm		3 x BA15	39 mm	$h_p \geq 37$ mm	$h_p \geq 28$ mm
^(*) Panneaux non revêtus (cf. page 15)							
⁽¹⁾ Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300							
⁽²⁾ Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312). S'applique également au MDF (NF EN 622-5).							
⁽³⁾ Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400$ kg/m ³ .							
⁽⁴⁾ Installer impérativement la plaque la moins épaisse contre la pièce de bois puis le BA 18 à l'extérieur .							
t_{pen} [mm]	6.d						
PLAQUES DE PLATRE Type F « Feu »							
Protection	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
	BA 13 Feu	BA 15 Feu	BA 18 Feu ⁽⁵⁾	BA 13 Feu + BA 15 Feu ⁽⁶⁾	2 x BA 15 Feu	BA 13 Feu + BA 18 Feu ⁽⁷⁾	
⁽⁵⁾ Peut être remplacé par les configurations suivantes : 2 x BA 13 Feu							
⁽⁶⁾ Installer impérativement la plaque la moins épaisse contre la pièce de bois puis le BA 15 à l'extérieur .							
⁽⁷⁾ Installer impérativement la plaque la moins épaisse contre la pièce de bois puis le BA 18 à l'extérieur .							
⁽⁸⁾ La profondeur de pénétration t_{pen} pour les fixations d'une plaque de plâtre type F « feu » dépend de la pièce de bois protégée. Elle permet d'assurer une pénétration résiduelle d'au moins 10 mm dans la partie non carbonisée.							
t_{pen} ⁽⁸⁾ Résineux et Hêtre ou LVL	48 mm	44 mm	38 mm	30 mm	23 mm	19 mm	
t_{pen} ⁽⁸⁾ Feuillus (sauf Hêtre)	40 mm	39 mm	34 mm	26 mm	20 mm	17 mm	

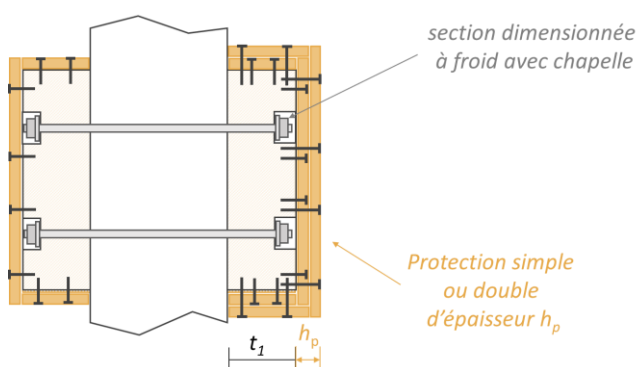
ASSEMBLAGES PAR BOULONS OU BROCHES

R60 [protection]	BOIS - BOIS - BOULONS														
	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	K - F5			J - F4										
	Neige ⁽²⁾	J - F5							H - F3			G - F3	G - F2		
	Catégorie A, B ⁽³⁾	J - F4													
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾						I - F4								
	Catégorie E ⁽⁵⁾														
Poids propre	I - F4														

R60 [protection]	BOIS - BOIS - BROCHES														
	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	J - F4	I - F4	H - F3											
	Neige ⁽²⁾	I - F4		G - F3											
	Catégorie A, B ⁽³⁾	H - F3		G - F2											
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾				G - F3										
	Catégorie E ⁽⁵⁾														
Poids propre	G - F2														

R60 [protection]	BOIS - METAL - BOULONS & BROCHES														
	Q_k / G_k	10 % ⁽¹⁾	25 %	50 %	75 %	100 %	125 %	150 %	175 %	200 %	250 %	300 %	350 %	400 %	
	Vent ⁽¹⁾	K - F6			K - F5		J - F5							I - F4	
	Neige ⁽²⁾				J - F5							I - F4		H - F3	
	Catégorie A, B ⁽³⁾	K - F5										J - F4		I - F4	
	Catégorie C, D ⁽⁴⁾				J - F5										
	Catégorie E ⁽⁵⁾														
Poids propre	J - F4														
⁽¹⁾ Vent ou Neige accidentelle ⁽²⁾ Neige à moins de 1 000 m d'altitude ⁽³⁾ Cat. A : Habitation ; Cat. B : Bureaux ; Neige à plus de 1 000 m ⁽⁴⁾ Cat. C : Ecoles, lieux publics/de réunion ; Cat. D : Commerces ⁽⁵⁾ Cat. E : Stockage ⁽⁶⁾ Valeurs < 10% : prendre solution pour Charges permanentes															
 Epaisseur $t_p \leq 3 \text{ mm}$ Protection des rives par des interstices de profondeur : $d_g \geq 60 \text{ mm}$		 Epaisseur $t_p \geq 2 \text{ mm}$ Protection des rives par bandes collées de largeur : $d_g \geq 30 \text{ mm}$		 Epaisseur $t_p \geq 2 \text{ mm}$ Protection des rives par une des solutions listées (avec $h_p \geq 30 \text{ mm}$ pour un panneau bois en Feuillus).											
Cas où la plaque métallique n'est pas plus étroite que l'élément en bois (sans la dépasser) : $t_p \geq 2 \text{ mm}$ et $b_p \geq 280 \text{ mm}$															

Assemblages par Broches : Ajouter un boulon de serrage pour quatre broches afin d'assurer le maintien en place de l'assemblage en situation d'incendie. Les taux de travail indiqués ne tiennent pas compte de la capacité de ces boulons de serrage.




 Les têtes de boulons doivent être intégralement protégées par la protection d'épaisseur h_p .

METHODOLOGIE

INTRODUCTION

Cette section rassemble diverses informations complémentaires aux parties précédentes du document, et qui fournissent au lecteur les éléments de compréhension du dimensionnement des assemblages bois-bois et bois-métal par organes de fixation de type tige en situation d'incendie selon l'Eurocode 5.

Dans un premier temps, les principes de dimensionnement au feu des structures bois sont rappelés, ainsi que l'organisation des diverses méthodes de dimensionnement des assemblages de la NF EN 1995-1-2 (Eurocode 5, partie feu).

Sont ensuite décrits les éléments ayant permis de proposer les méthodes simples et avancées du présent guide.

Ces informations sont complétées par des tableaux synthétisant les propriétés des matériaux et assemblages spécifiques au dimensionnement des assemblages de structure bois en situation d'incendie, telles que les vitesses de combustion des matériaux bois et panneaux à base de bois ou encore les temps de début de combustion pour diverses solutions de protection.

Sont également rappelés un certain nombre de dispositions constructives relatives à la protection des assemblages en situation d'incendie, comme l'augmentation des sections et des pinces ou la protection des têtes de boulons.

4.1. DIMENSIONNEMENT DES ASSEMBLAGES AU FEU

PRINCIPE DE JUSTIFICATION DES STRUCTURES BOIS SOUSMISES A L'INCENDIE

L'Eurocode 5, dans sa partie « feu » (NF EN 1995-1-2) exprime le principe de vérification des structures bois soumises à l'incendie dans le domaine des efforts :

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (\S 2.4.1(2)P)$$

Avec : $E_{d,fi}$ Valeur de calcul de l'effet des actions pour la situation incendie

$R_{d,t,fi}$ Valeur de calcul de la résistance correspondante pour la situation incendie au temps t

Certaines méthodes simplifiées de l'Eurocode utilisent les équations écrites dans le domaine des efforts et transformées pour les exprimer dans le domaine du temps. Nous en détaillerons certaines plus loin.

DETERMINATION DE L'EFFET DES ACTIONS

La NF EN 1991-1-2 donne au §4.3deux possibilités pour déterminer $E_{d,fi}$, reprises également dans la NF EN 1995-1-2 :

EN DETERMINANT LES COMBINAISONS D'ACTIONS POUR LA SITUATION INCENDIE : (NF EN 1995-1-2, § 2.4.2(1))

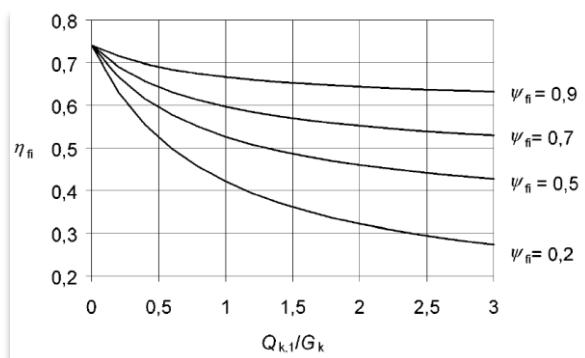
Il s'agit de déterminer l'effet des actions pour $t=0$ en utilisant un facteur de combinaison ψ_{fi} pris égal aux facteurs de combinaison $\psi_{1,1}$ ou $\psi_{2,1}$ suivant NF EN 1991-1-2, §4.3.1. Pour la France l'annexe nationale impose l'utilisation de $\psi_{1,1}$.

EN UTILISANT UN COEFFICIENT DE REDUCTION PAR RAPPORT A LA SITUATION NORMALE : (NF EN 1995-1-2, § 2.4.2(2))

Il s'agit de multiplier l'effet des actions à froid par un coefficient de réduction : $E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$

soit avec : η_{fi} calculé selon $\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}$ avec $\psi_{fi} = \psi_{1,1}$ pour la France (cf. plus haut)

soit avec : η_{fi} approximé forfaitairement (pour la France l'Annexe Nationale impose la valeur de 0,7)



Valeurs de η_{fi} fonction de $Q_{k,1}/G_k$ et de ψ_{fi} pour $\gamma_G = 1,35$ et $\gamma_{Q1} = 1,50$ (Figure 2.1, NF EN 1995-1-2)

REDUCTION DE LA SECTION DES ELEMENTS BOIS EXPOSES AU FEU

Le principe général de dimensionnement d'éléments de structure bois exposés au feu s'appuie sur la réduction de la section des pièces de bois ou à base de bois en fonction du temps d'exposition à l'incendie.

Cette réduction de section dépend de la vitesse de combustion β du matériau considéré, et est matérialisée par la profondeur de carbonisation notée d_{char} calculée à l'instant t d'exposition au feu.

Ce même principe s'applique aux éléments de protection rapportée, qui ; en fonction de la vitesse de combustion et du temps d'exposition, vont retarder le début de combustion de l'élément qu'ils protègent.

La NF EN 1995-1-2 distingue deux vitesses de combustion pour déterminer la section résiduelle :

LA VITESSE DE COMBUSTION UNIDIMENSIONNELLE β_0 :

La profondeur de carbonisation est alors : $d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$ (§ 3.4.2(1))

L'utilisation de cette vitesse unidimensionnelle pour la détermination de la résistance de la section résiduelle nécessite de prendre en compte l'arrondi des angles des éléments au moyen d'un rayon égal à $d_{char,0}$. Cette vitesse n'est alors utilisable que pour une épaisseur minimale des éléments définie suivant 3.4.2(3). Sinon, on doit utiliser la vitesse fictive.

LA VITESSE DE COMBUSTION FICTIVE β_n :

La profondeur de carbonisation est alors : $d_{char,n} = \beta_n \cdot t$ (§ 3.4.2(2))

L'utilisation de cette vitesse fictive permet de s'affranchir de la prise en compte de l'arrondi des angles des éléments, leur effet étant déjà pris en compte dans β_n .

PROPRIETES MECANQUES DES ELEMENTS BOIS

Quelle que soit la méthode de calcul choisie les propriétés de référence à utiliser ne sont plus les valeurs caractéristiques du fractile à 5% mais celles au fractile à 20% (§ 2.3.(3)). Le coefficient k_{fi} permet de passer des unes aux autres ainsi :

- Propriétés de résistance : $f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$
- Propriétés de rigidité : $S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$
- Avec k_{fi} défini selon le matériau ou le type d'assemblage au Tableau 2.1 (§ 2.3(3))

	k_{fi}
Bois massif	1,25
Bois lamellé collé	1,15
Panneaux à base de bois	1,15
LVL	1,1
Assemblages sollicités en cisaillement avec éléments latéraux en bois ou en panneaux à base de bois	1,15
Assemblages sollicités en cisaillement avec éléments latéraux métalliques	1,05
Assemblages sollicités axialement	1,05

Coefficient k_{fi} selon le matériau ou le type d'assemblage (Tableau 2.1, NF EN 1995-1-2)

En outre, les coefficients partiels à utiliser sont donnés au § 2.3(1)P :

- Propriétés de résistance : $f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$
- Propriétés de rigidité : $S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$

avec : $\gamma_{M,fi} = 1,0$ pour la France (Annexe Nationale § 2.3(1)P)

$k_{mod,fi} = 1,0$ dans tous les cas (§ 4.2.2(5))

On peut donc écrire de manière générique la résistance $F_{v,Rd,t,fi}$ d'un assemblage en situation d'incendie à l'instant t d'exposition au feu comme :

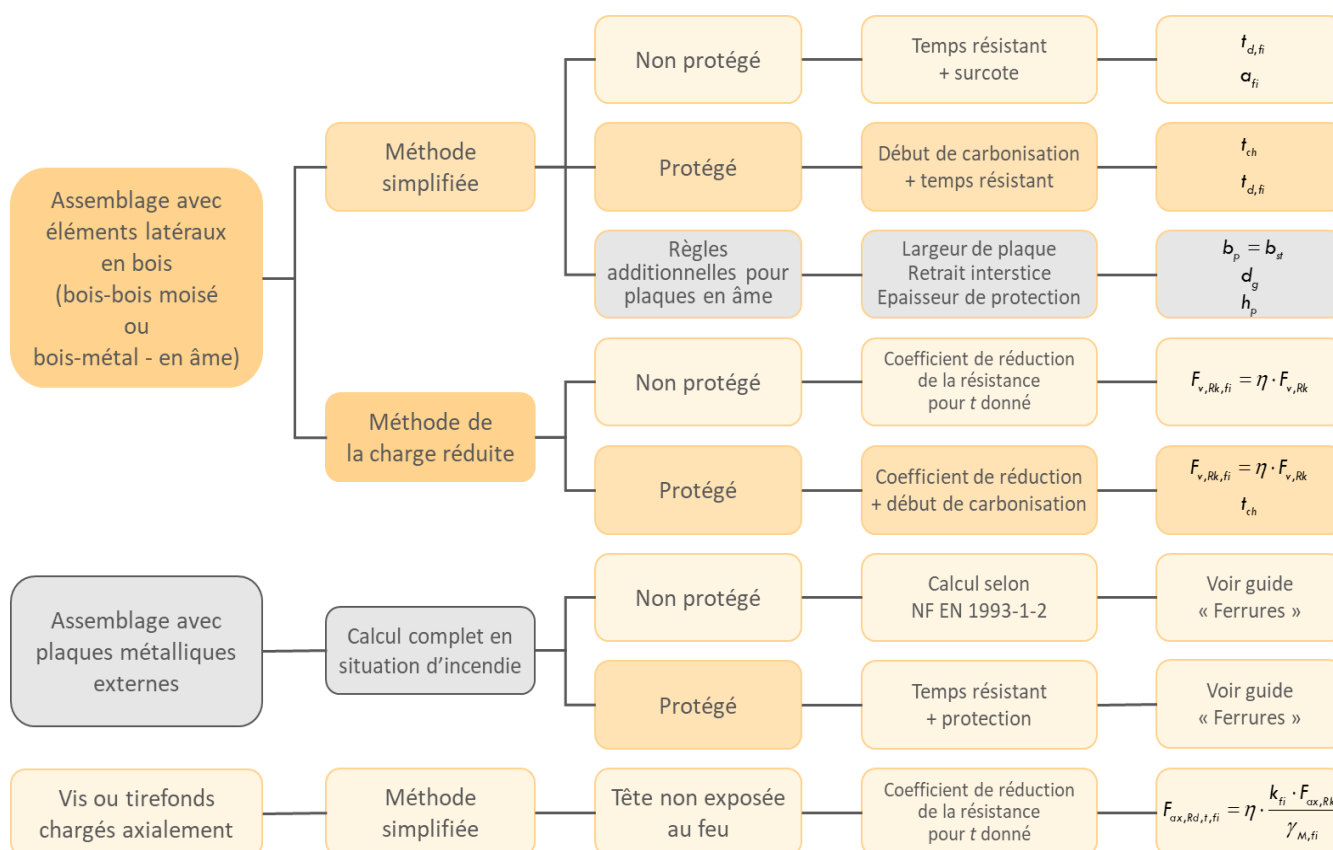
$$F_{v,Rd,t,fi} = \eta(t) \cdot k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

où $\eta(t)$ prend en compte l'effet de la réduction de section et du flux de température dans l'organe de fixation métallique.

ARTICULATION DES METHODES DE L'EUROCODE 5 POUR LES ASSEMBLAGES AU FEU

La partie « feu » de l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-2) propose différentes approches pour le dimensionnement des assemblages bois-bois et bois-métal, selon le type d'assemblage, la présence ou non de protection rapportée.

Le diagramme ci-dessous présente de manière synthétique l'articulation de ces méthodes, leur principe et les grandeurs principales qui entrent en ligne de compte pour leur utilisation.



Ce guide ne couvre pas les assemblages réalisés au moyen :

- de connecteurs tri-dimensionnels sous ETE (Evaluation Technique Européenne), à laquelle il convient de se référer.
- de ferrures métalliques mécanosoudées ;
- d'organes de fixation sollicités uniquement axialement (à l'arrachement).

Les assemblages par plaques métalliques externes sont traités dans le « *Guide Pratique – Dimensionnement au feu des assemblages par ferrures métalliques* » édité par le CODIFAB.

Ce qui suit se concentre donc sur les assemblages bois-bois sollicités en cisaillement et les assemblages bois-métal par ferrure métallique en âme.

Pour ces assemblages, l'Eurocode 5 :

- permet l'utilisation de la méthode simplifiée (dans son cadre de validité) ;
- préconise l'utilisation de la méthode de la charge réduite en l'absence de justification d'une méthode plus appropriée
- permet cependant l'utilisation d'une méthode jugée appropriée selon les principes fondamentaux des Eurocodes.

C'est sur la base des deux premières méthodes décrites dans la NF EN 1995-1-2 que les méthodes simples et avancée du présent guide ont été développées.

METHODE DE LA CHARGE REDUITE

Cette méthode pose que la résistance au cisaillement d'un assemblage en situation d'incendie (au feu) peut être déterminée à partir de la résistance en situation normale (à froid) :

$$F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,Rk} \quad \text{qui par cohérence devrait s'écrire :} \quad F_{v,Rk,fi} = \eta \cdot F_{v,R20} = \eta \cdot k_{fi} \cdot F_{v,Rk}$$

avec : $\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$ un coefficient de réduction qui dépend du temps $t_{d,fi}$ d'exposition

et où : k un paramètre défini dans le Tableau 6.3 de la NF EN 1995-1-2 (voir ci-dessous), qui dépend du type d'organe de fixation et d'assemblage, et n'est valide que pour une certaine durée d'exposition

Assemblage avec	k	Période maximum de validité du paramètre k pour l'assemblage non protégé min
Pointes et tirefonds	0,08	20
Boulons bois bois avec $d \geq 12$ mm	0,065	30
Boulons bois métal avec $d \geq 12$ mm	0,085	30
Broches bois bois ^{a)} avec $d \geq 12$ mm	0,04	40
Broches bois métal ^{a)} avec $d \geq 12$ mm	0,085	30
Assembleurs conformes à EN 912	0,065	30

a) Les valeurs pour les broches nécessitent la présence d'un boulon par groupe de 4 broches.

Il a été vu précédemment que, de manière similaire, le § 2.4.2(2) de la NF EN 1995-1-2 permet de déterminer l'effort en situation d'incendie à partir de l'effort en situation normale au moyen d'un coefficient de réduction η_{fi} :

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad \text{d'où :} \quad \eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d}$$

On peut écrire le taux de travail en situation normale η_0 et celui en situation d'incendie $\eta_{t,fi}$ comme suit :

$$\eta_0 = \frac{E_d}{F_{v,Rd}} \quad \text{où :} \quad F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

$$\eta_{t,fi} = \frac{E_{d,fi}}{F_{v,Rd,t,fi}} \quad \text{où :} \quad F_{v,Rd,t,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{F_{v,Rk,fi}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{\eta \cdot k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{e^{-k \cdot t_{d,fi}} \cdot k_{fi} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_{M,fi}}$$

Chacune de ces équations peut être réorganisée pour s'exprimer en fonction de $F_{v,Rk}$:

$$F_{v,Rd} = \frac{E_d}{\eta_0} \quad \text{et :} \quad F_{v,Rk} = \frac{\gamma_M}{k_{mod}} \cdot F_{v,Rd} \quad \text{d'où :} \quad F_{v,Rk} = \frac{\gamma_M}{k_{mod}} \cdot \frac{E_d}{\eta_0}$$

$$F_{v,Rd,t,fi} = \frac{E_{d,fi}}{\eta_{t,fi}} \quad \text{et :} \quad F_{v,Rk} = \frac{1}{e^{-k \cdot t_{d,fi}} \cdot k_{fi}} \cdot \frac{\gamma_{M,fi}}{k_{mod,fi}} \cdot F_{v,Rd,t,fi} \quad \text{d'où :} \quad F_{v,Rk} = \frac{1}{e^{-k \cdot t_{d,fi}} \cdot k_{fi}} \cdot \frac{\gamma_{M,fi}}{k_{mod,fi}} \cdot \frac{E_{d,fi}}{\eta_{t,fi}}$$

et permettre d'écrire une nouvelle égalité :

$$\frac{\gamma_M}{k_{mod}} \cdot \frac{E_d}{\eta_0} = \frac{1}{e^{-k \cdot t_{d,fi}} \cdot k_{fi}} \cdot \frac{\gamma_{M,fi}}{k_{mod,fi}} \cdot \frac{E_{d,fi}}{\eta_{t,fi}}$$

qui devient :

$$e^{-k \cdot t_{d,fi}} = \frac{1}{k_{fi}} \cdot \frac{k_{mod}}{k_{mod,fi}} \cdot \frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_M} \cdot \frac{\eta_0}{\eta_{t,fi}} \cdot \frac{E_{d,fi}}{E_d}$$

puis en substituant $\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d}$ donne :

$$e^{-k \cdot t_{d,fi}} = \frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{\eta_{t,fi} \cdot k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \gamma_M}$$

On rappelle que dans notre cas :

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

(§4.2.2(5))

Si l'on cherche à déterminer la durée de résistance $t_{d,fi}$ maximum, c'est-à-dire pour laquelle $\eta_{t,fi} = 100\%$, ceci s'écrit :

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left(\frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_M} \right) \quad \text{qui est l'équation donnée au §6.2.2.1(3) de la NF EN 1995-1-2}$$

Ceci permet donc de mettre en relation la durée de résistance $t_{d,fi}$, le taux de travail à froid η_0 et le coefficient de réduction des actions en situation normales η_{fi} et le coefficient de modification k_{mod} , ces deux derniers coefficients étant liés à la nature de l'action considérée.

Si l'on cherche alors le taux de travail maximum à froid $\eta_{0,max}$ qui permette d'atteindre une durée de résistance $t_{d,fi}$ donnée, ceci s'écrit :

$$\eta_{0,max} = e^{-k \cdot t_{d,fi}} \cdot \frac{k_{fi} \cdot \gamma_M}{\eta_{fi} \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}$$

La seule variable quelque peu complexe à appréhender est le coefficient de réduction des actions en situation normales η_{fi} qui est :

$$\text{soit calculé : } \eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad \text{avec } \psi_{fi} = \psi_{1,1} \text{ pour la France (cf. plus haut)}$$

soit approximé forfaitairement : pour la France l'Annexe Nationale impose la valeur de 0,7.

Note : Par simplification on notera dans ce qui suit l'action variable Q_k comme étant soit $Q_{k,1}$, soit la valeur approchée issue d'une combinaison de plus d'une action variable telle que définie un peu plus loin.

La valeur de $\psi_{fi} = \psi_{1,1}$ varie entre 0,2 et 0,9 selon la nature de l'action variable considérée (vent, neige, charge d'exploitation, ...) et, dans le cas de charges d'exploitation, de la destination de l'ouvrage.

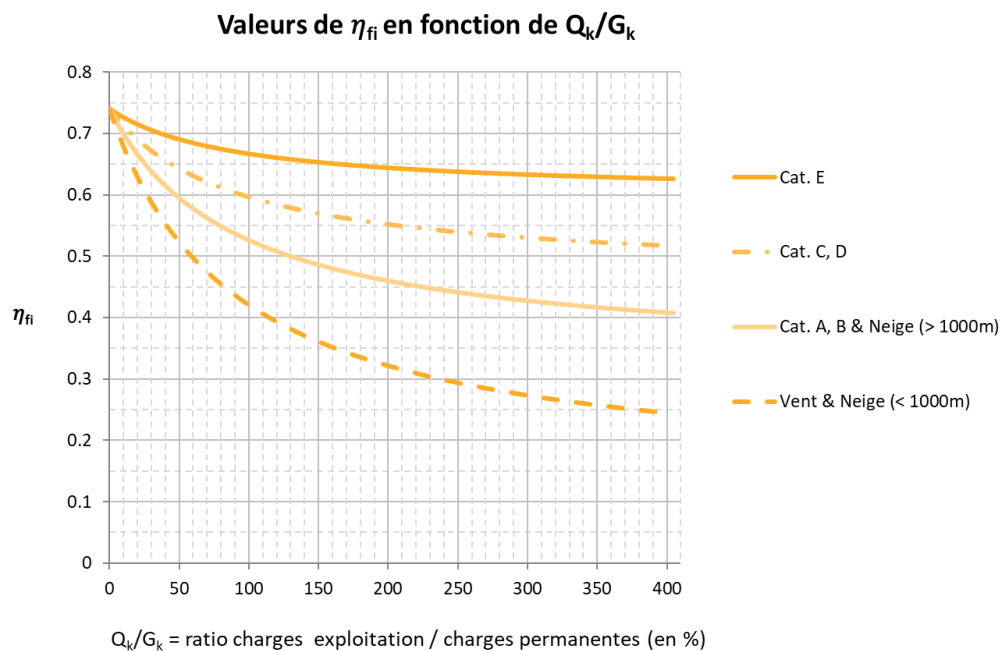
Le tableau ci-dessous reprend les éléments principaux concernant la nature des charges et les coefficients partiels ψ_1 retenus pour le présent guide, conformément au Tableau A1.1 de la NF EN 1990 et son Annexe Nationale, en mettant également en regard les classes de durée de chargement pour ces actions dans la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale et les coefficients k_{mod} correspondants (pour le bois massif, le lamellé-collé et le lamibois-LVL).

Nature de l'action	Coefficient partiel ψ_1	Classe de durée de chargement	Coefficient k_{mod}	Groupes retenus pour le guide
Charges dues au vent	0,20	Instantané	1,10	Vent
Charges dues à la neige accidentelle				
Charges dues à la neige à moins de 1 000m d'altitude	0,20	Court terme	0,90	Neige
Charges dues à la neige à plus de 1 000m d'altitude	0,50	Moyen terme	0,80	Catégorie A, B
Charges d'exploitation des bâtiments :				
Catégorie A : Habitation				
Catégorie B : Bureaux				
Catégorie C : Ecoles, lieux publics/de réunion	0,70	Moyen terme	0,80	Catégorie C, D
Catégorie D : Commerces				
Catégorie E : Stockage	0,90	Long terme	0,70	Catégorie E
Charges permanentes (poids propre)		Permanent	0,60	Poids propre

Pour le détail des catégories d'usage des bâtiments, il convient de se référer à la NF EN 1991-1-1 et son Annexe Nationale.

La combinaison des valeurs des coefficients partiels ψ_1 et des coefficients k_{mod} pour isoler des couples de valeurs uniques (qui influenceront donc sur les résultats obtenus pour $t_{d,fi}$ ou $\eta_{0,max}$) permet de regrouper ces actions en groupes dont la dénomination est basée sur l'action la plus représentative dans le cas courant (cf. tableau ci-dessus).

On peut également adapter la Figure 2.1 de la NF EN 1995-1-2 qui donne les valeurs du coefficient réducteur η_{fi} pour en permettre une lecture directe plus aisée au moyen de la nature de l'action (du groupe d'action) qui nous intéresse :



Cependant, la lecture reste encore imprécise, et il est toujours encore nécessaire de procéder par l'étape intermédiaire de la détermination de η_{fi} en fonction de Q_k/G_k pour pouvoir ensuite calculer soit $t_{d,fi}$ soit $\eta_{0,max}$.

En outre, on voit sur ce graphe que la valeur forfaitaire de 0,7 proposée si l'on ne connaît pas Q_k/G_k ou l'on ne souhaite pas calculer précisément η_{fi} , s'avère très sécuritaire dans la majorité des cas.

En repartant de la définition de η_{fi} il est possible, pour un groupe d'action donné (donc une valeur de ψ_1 donnée et connue) d'exprimer η_{fi} en fonction du rapport Q_k/G_k , en considérant que le cas le plus courant est celui où $\gamma_G = 1,35$ et $\gamma_Q = 1,50$:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_1 \cdot Q_k}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k} = \frac{G_k + \psi_1 \cdot Q_k}{1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_k} = \frac{1 + \psi_1 \cdot (Q_k/G_k)}{1,35 + 1,50 \cdot (Q_k/G_k)}$$

En substituant dans les équations vues précédemment on peut ainsi obtenir :

Si l'on cherche à déterminer la durée de résistance $t_{d,fi}$ maximum, c'est-à-dire pour laquelle $\eta_{t,fi} = 100\%$:

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left[\left(\frac{1 + \psi_1 \cdot (Q_k/G_k)}{1,35 + 1,50 \cdot (Q_k/G_k)} \right) \cdot \frac{\eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_M} \right]$$

Si l'on cherche le taux de travail maximum à froid $\eta_{0,max}$ qui permette d'atteindre une durée de résistance $t_{d,fi}$ donnée :

$$\eta_{0,max} = e^{-k \cdot t_{d,fi}} \cdot \frac{k_{fi} \cdot \gamma_M}{k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}} \cdot \left(\frac{1,35 + 1,50 \cdot (Q_k/G_k)}{1 + \psi_1 \cdot (Q_k/G_k)} \right)$$

Ceci permet donc de mettre en relation la durée de résistance $t_{d,fi}$ et le taux de travail à froid η_0 directement avec le rapport Q_k/G_k , le choix du groupe d'action permettant de tenir compte de manière intrinsèque de η_{fi} de k_{mod} .

4.2. DEVELOPPEMENT DES METHODES DU GUIDE

APPROCHE SIMPLIFIEE

A l'instar d'éléments de méthodes simplifiées développées et présentées dans d'autres guides de dimensionnement d'assemblages de structure bois édités par le CODIFAB, un travail similaire a été réalisé afin de rechercher des pistes de simplification de la méthode de dimensionnement présentée précédemment, ou à tout le moins de proposer des tableaux synthétiques à lecture directe pour des configurations usuelles, moyennant certaines simplifications à caractère sécuritaire.

L'approche de simplification s'est appuyée sur les principes suivants :

- Considérer que l'assemblage a été dimensionné en situation normale avant d'en vérifier la durée de résistance en situation d'incendie, et que par conséquent son taux de travail en situation normale est potentiellement connu ;
- Se concentrer sur les organes de fixation de type tige courants : pointes, vis et tirefonds, boulons et broches ;
- Définir un cadre précis pour les composants de l'assemblage (matériaux, dimensions, organes de fixation, configurations des ferrures, combinaisons de chacun de ces paramètres) ;
- Rechercher pour la méthode simple une approche forfaitaire ne nécessitant pas de connaître le taux de travail à froid, basée sur des dispositions dimensionnelles et/ou constructives uniquement ;
- Rechercher pour la méthode avancée une facilité de lecture à partir d'un nombre limité de paramètres d'entrée ;
- Appréhender alors la vérification en situation d'incendie sur la base d'actions déterminées selon la méthode simplifiée de la NF EN 1991-1-2, §4.3.2, méthode dite de la charge réduite ;
- Poser des hypothèses sur les actions en entrée et mettre directement en relation ces paramètres avec la solution listée dans les tableaux, en supprimant l'étape pouvant être un peu lourde de détermination des coefficients η_{fi} en situation d'incendie et de calcul des temps résistants ou de protection correspondants ;
- Proposer une approche progressive autour des trois degrés de résistance au feu couramment exigés par la réglementation incendie (15, 30 et 60 minutes) et lister directement des solutions de protection reflétant des produits usuellement disponibles dans le commerce.

DEFINITION DU CADRE DE VALIDITE

Le cadre de validité a été défini par combinaison des critères de validité des diverses règles de la méthode simplifiée et de la méthode de la charge réduite, en s'assurant de « fermer » les éventuelles situations indéfinies et d'assurer ainsi la praticabilité de ces méthodes dans tous les cas de figure de la lecture du guide. C'est ainsi par exemple que :

- Le diamètre minimal des broches et boulons couverts dans les méthodes simplifiées correspond à une exigence de validité de la méthode de la charge réduite (paramètre k du Tableau 6.3) ;
- L'épaisseur minimale des pièces de bois des méthodes simplifiées, qui ne s'applique pour la méthode simplifiée de l'Eurocode 5 qu'aux boulons et broches, a été étendue aux pointes, vis et tirefonds, et que cette même exigence a été définie pour les méthodes avancées pour ces mêmes organes ;
- L'épaisseur minimale des plaques métalliques en âme a été définie arbitrairement à la fois pour des considérations d'ordre pratique (il est plutôt rare qu'une telle plaque ait une épaisseur inférieure à 2 mm) et parce que la majorité des solutions permettant de s'affranchir de la vérification de la plaque métallique concernent des épaisseurs plus importantes.
- Les dispositions pour la mise en œuvre des protections ainsi que l'exigence de protection des têtes de boulons au-delà d'une durée de 15 minutes sont définies dans la méthode simplifiée de l'Eurocode 5 et ont été retenues également pour les cas relevant de la méthode de la charge réduite.

Il en résulte que les méthodes simplifiées ne permettent pas une configuration dimensionnelle qui ne serait pas permise par les méthodes avancées, et vice versa.

 DEVELOPPEMENT DES METHODES SIMPLES

Les méthodes simples sont tout naturellement basées sur la méthode simplifiée du §6.2.1 de la NF EN 1995-1-2.

Il a été considéré que les méthodes simples devaient fournir des solutions lorsque l'on souhaite **s'assurer a priori de la durée de résistance au feu sans avoir recours à une quelconque vérification numérique, et sans connaître le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale), ceci par l'application de solutions forfaitaires.**

RESISTANCE DE 15 MINUTES (R15)

Le degré de résistance de 15 minutes est atteint **sans protections** par le respect des exigences de dimensions minimales des organes et/ou des pièces de bois assemblées qui correspondent au Tableau 6.1 du §6.2.1.1 de la NF EN 1995-1-2, qui couvre une durée de 15 minutes pour tous les organes sauf les broches et 20 minutes pour les broches (donc a fortiori 15 minutes).

RESISTANCE DE 30 MINUTES (R30)

Le §6.2.1.1(2) permet d'étendre à 30 minutes la durée de résistance $t_{d,fi}$ du Tableau 6.1 (15 minutes pour tous les organes sauf les broches et 20 minutes pour les broches), moyennant l'augmentation de la section des pièces de bois exposées et des pincés minimales de l'Eurocode 5 (§8) par une surcote α_{fi} :

$$\alpha_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$$

avec : β_n la vitesse de combustion fictive de la pièce de bois

$k_{flux} = 1,5$ un coefficient prenant en compte l'influence du flux de chaleur à travers l'organe de fixation

$t_{req} = 30$ min la durée de résistance visée

$t_{d,fi} = 15$ minutes pour tous les organes sauf les broches et 20 minutes pour les broches

Note : La limite de validité du calcul de résistance basé sur les dimensions forfaitaires du Tableau 6.1 et l'augmentation de section et des pincés d'une surcote α_{fi} est également de 30 minutes.

L'autre moyen d'étendre à 30 minutes la durée de résistance $t_{d,fi}$ du Tableau 6.1 est une protection rapportée conformément au §6.2.1.2, sans modifier la section et les pincés d'origine définies lors du calcul à froid (cf. §4.4 du guide pour le calcul de ces solutions de protection rapportées).

Il en résulte que le degré de résistance de 30 minutes est atteint à partir de la méthode forfaitaire permettant d'atteindre le degré R15 :

- soit par augmentation forfaitaire des sections de bois et des pincés ;
 - ⇒ *cette solution est utile notamment lorsque les contraintes esthétiques ne permettent pas d'ajout de protections, mais engendre une augmentation du volume total du bois qui peut être importante*
- soit en protégeant l'assemblage au moyen d'une protection adaptée.
 - ⇒ *cette solution est la plus rationnelle d'un point de vue économique puisqu'elle concentre l'ajout de matière sur la seule zone de l'assemblage, mais est difficilement adaptée à des contraintes esthétiques.*

RESISTANCE DE 60 MINUTES (R60)

L'Eurocode 5 ne permet pas d'étendre le principe de surcote α_{fi} au-delà d'une durée totale de 30 minutes. Il faut donc dans tous les cas une protection rapportée pour atteindre une durée de résistance de 60 minutes.

Par conséquent on étend à 60 minutes la durée de résistance $t_{d,fi}$ du Tableau 6.1 par une protection rapportée systématique conformément au §6.2.1.2, sans modifier la section et les pincés d'origine définies lors du calcul à froid (cf. §4.4 du guide pour le calcul de ces solutions de protection rapportées).

- ⇒ *cette solution est la plus rationnelle d'un point de vue économique puisqu'elle concentre l'ajout de matière sur la seule zone de l'assemblage, mais est peut poser des problèmes en présence de contraintes esthétiques.*

DEVELOPPEMENT DES METHODES AVANCEES

Les méthodes avancées sont développées à partir de la méthode de la charge réduite du §6.2.2 de la NF EN 1995-1-2.

Il a été considéré que les méthodes simples devaient fournir des solutions lorsque l'on souhaite **optimiser l'assemblage en situation d'incendie par rapport aux méthodes simples pour des durées de résistance de 30 ou 60 minutes et lorsque le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid (situation normale) ainsi que le rapport des charges variables aux charges permanentes Q_k/G_k sont connus, sans pour autant procéder à la vérification complète de l'assemblage selon la NF EN 1995-1-2**

Les tableaux des méthodes avancées sont donc lus directement à partir du rapport Q_k/G_k des charges variables (Q_k) aux charges permanentes (G_k) exprimé en pourcentage et la nature (le groupe) de l'action variable. **On retient à cet effet l'action variable principale qui génère le cas décisif.**

On part donc du principe que l'utilisateur de ces méthodes connaît le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid et le rapport des charges variables aux charges permanentes Q_k/G_k . (voir plus loin la détermination d'une valeur approchée dans les cas particuliers).

Si le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid n'est pas connu, il convient de prendre $\eta_0 = 100\%$.

RESISTANCE DE 15 MINUTES (R15)

Pour un degré de résistance de 15 minutes (R15), la méthode de la charge réduite n'apporte aucun bénéfice par rapport à la méthode forfaitaire. Cette résistance n'a donc pas été traitée dans les méthodes avancées.

RESISTANCE DE 30 MINUTES (R30)

Le degré de résistance de 30 minutes est atteint par application de la méthode de la charge réduite de la NF EN 1995-1-2 :

- soit en s'assurant que le taux de travail η_0 de l'assemblage à froid est inférieur à une valeur maximum $\eta_{0,max}$ ne nécessitant aucune protection supplémentaire de l'assemblage ;
 - ⇒ *il faudra le cas échéant augmenter le nombre d'organes de l'assemblage afin d'abaisser le taux d'effort η_0 pour atteindre une valeur inférieure à $\eta_{0,max}$ (ATTENTION : le taux de travail n'est pas forcément proportionnel au nombre d'organes)*
 - ⇒ *cette solution est utile notamment lorsque les contraintes esthétiques ne permettent pas d'ajout de protections, mais engendre une augmentation du nombre d'organes de fixation, voire du volume total du bois qui peut être importante*
- soit en protégeant l'assemblage au moyen d'une protection adaptée.
 - ⇒ *cette solution est la plus rationnelle d'un point de vue économique puisqu'elle concentre l'ajout de matière sur la seule zone de l'assemblage, mais est difficilement adaptée à des contraintes esthétiques.*

En outre, la lecture du Tableau 6.3 de la NF EN 1995-1-2 montre que pour les **pointes, vis et tirefonds**, le paramètre k n'est valide que pour une durée de 20 minutes. En application du §6.2.2.1(6), il convient donc d'**augmenter systématiquement la section et les pinces d'une surcote α_{fi}** , dont on note qu'elle est plus favorable que celle données dans la méthode simplifiée :

$$\alpha_{fi} = \beta_n \cdot (t_{req} - t_{d,fi}) \quad \text{avec } t_{d,fi} = 20 \text{ min} \quad (\text{correspond à } k_{flux} = 1,00 \text{ dans l'équation d}'\alpha_{fi} \text{ de la méthode simplifiée})$$

RESISTANCE DE 60 MINUTES (R60)

La lecture du Tableau 6.3 de la NF EN 1995-1-2 montre que le paramètre k n'est valide que pour une durée allant de 20 à 40 minutes maximum. En outre, conformément au §6.2.2.1(6) la surcote α_{fi} ne peut être appliquée au-delà de 30 minutes.

Par conséquent la détermination d'un taux de travail à froid maximum $\eta_{0,max}$ ne nécessitant aucune protection supplémentaire de l'assemblage n'est pas valide, puisqu'elle prendrait comme donnée d'entrée une valeur de $t_{d,fi}$ supérieure à celle du cadre de validité du paramètre k .

Pour les pointes, vis et tirefonds, à l'instar des méthodes simples, on ne combine pas la surcote α_{fi} avec une protection. Seule une protection permet d'aller de la valeur de $t_{d,fi}$ calculée à la durée de résistance cible de 60 minutes.

Il en résulte donc qu'une protection rapportée sera systématiquement nécessaire pour atteindre 60 minutes.

DISPOSITIONS ADDITIONNELLES POUR LES PLAQUES EN AME

Afin de pouvoir s'affranchir de la vérification de la plaque métallique, on impose dans le présent guide le respect des dispositions additionnelles relatives aux dimensions des plaques décrites au §6.2.1.3 de la NF EN 1995-1-2 dans toutes les configurations.

Néanmoins, pour chacun des degrés de résistance, et pour chacune des méthodes décrites, seules les exigences paraissant visiblement compatibles avec la méthode et le degré traités ont été précisées, de sorte que chaque partie du document présentant un type de solution à un degré de résistance visé est complétée individuellement par les dispositions cohérentes relatives aux plaques métalliques en âme.

En outre, il a été considéré que les exigences décrites au §6.2.1.3 relatives au degré R30 sont également applicables au degré R15, bien que cela ne soit pas explicite dans l'Eurocode.

RAPPORT DES CHARGES VARIABLES AUX CHARGES PERMANENTES

Les tableaux des méthodes avancés sont lus directement à partir du rapport Q_k/G_k des charges variables (Q_k) aux charges permanentes (G_k). **On retient à cet effet l'action variable principale qui génère le cas décisif.**

Lorsque ce rapport n'est pas directement connu ou que le cas décisif implique une combinaison de plusieurs actions variables, ce rapport peut être déterminé de manière approchée à partir des valeurs de calcul des efforts maximum sur l'assemblage par :

$$\frac{Q_k}{G_k} \approx \left[\frac{E_{d,[G+Q]}}{E_{d,[G]}} - 1 \right] \cdot \frac{1,35}{1,50} \quad \text{où :} \quad \begin{array}{l} E_{d,[G]} \quad \text{l'effort pour la combinaison de poids propre seul} \\ E_{d,[G+Q]} \quad \text{pour la combinaison décisive} \end{array}$$

Cette approximation est développée comme suit :

On écrit les valeurs de calcul des efforts du cas de charge de poids propre seul et de la combinaison décisive comme suit :

$$E_{d,[G]} = f_{fi}(param, t) \cdot [1,35 \cdot G_k] \quad \text{et :} \quad E_{d,[G+Q]} = f_{fi}(param, t) \cdot [1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot 1,50 \cdot Q_{k,2}]$$

où : $f_{fi}(param, t)$ est une fonction des paramètres géométriques et du temps d'exposition au feu

Comme $\psi_{0,2} \leq 1,0$, et en posant $Q_k = Q_{k,1} + Q_{k,2}$ on peut déduire de manière sécuritaire que :

$$Q_k \approx Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2} \quad \text{et donc que :} \quad E_{d,[G+Q]} \approx f(param) \cdot [1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_k]$$

On peut alors écrire le rapport $\frac{E_{d,[G+Q]}}{E_{d,[G]}}$ qui devient :

$$\frac{E_{d,[G+Q]}}{E_{d,[G]}} \approx \frac{f(param) \cdot [1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_k]}{f(param) \cdot [1,35 \cdot G_k]} = \frac{1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_k}{1,35 \cdot G_k} = 1 + \frac{1,50 \cdot Q_k}{1,35 \cdot G_k}$$

$$\text{Dont on déduit :} \quad \frac{Q_k}{G_k} \approx \left[\frac{E_{d,[G+Q]}}{E_{d,[G]}} - 1 \right] \cdot \frac{1,35}{1,50}$$

COEFFICIENT PARTIEL DES MATERIAUX

L'Annexe Nationale de la NF EN 1995-1-1 fixe le coefficient partiel des matériaux γ_M à 1,30 pour les assemblages. Il a été remarqué lors de l'application de la méthode de la charge réduite qu'une valeur élevée de γ_M est favorable, donc non sécuritaire.

Les solutions du présent guide ont ainsi été développées en posant $\gamma_M = 1,20$ (valeur la plus petite des 3 matériaux à base de bois couverts par le guide : bois massif, lamellé-collé et lamibois – LVL).

4.3. VITESSES DE COMBUSTION

La NF EN 1995-1-2 distingue deux vitesses de combustion pour déterminer la section résiduelle :

LA VITESSE DE COMBUSTION UNIDIMENSIONNELLE β_0 :

La profondeur de carbonisation est alors : $d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$ (§ 3.4.2(1))

L'utilisation de cette vitesse unidimensionnelle pour la détermination de la résistance de la section résiduelle nécessite de prendre en compte l'arrondi des angles des éléments au moyen d'un rayon égal à $d_{char,0}$. Cette vitesse n'est alors utilisable que pour une épaisseur minimale des éléments définie suivant 3.4.2(3). Sinon, on doit utiliser la vitesse fictive.

LA VITESSE DE COMBUSTION FICTIVE β_n :

La profondeur de carbonisation est alors : $d_{char,n} = \beta_n \cdot t$ (§ 3.4.2(2))

L'utilisation de cette vitesse fictive permet de s'affranchir de la prise en compte de l'arrondi des angles des éléments, leur effet étant déjà pris en compte dans β_n .

Ces vitesses sont définies dans le Tableau 3.1 de la NF EN 1995-1-2 :

Matériau		β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
BOIS MASSIF	Résineux et Hêtre	0,65	0,80
	Feuillus (sauf Hêtre)	0,50	0,55
LAMELLE-COLLE	Résineux et Hêtre	0,65	0,70
	Feuillus (sauf Hêtre)	0,50	0,55
LAMIBOIS (LVL)		0,65	0,70
PANNEAUX A BASE DE BOIS ($h_p = 20 \text{ mm}$; $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$)	Contreplaqué	1,00	-
	Autres panneaux	0,90	-

Pour les panneaux à base de bois, la vitesse de combustion unidimensionnelle d'un panneau donné $\beta_{0,\rho,t}$ est en réalité dépendante de l'épaisseur h_p et de la masse volumique caractéristique ρ_k du panneau (la valeur tabulée ci-dessus est pour un panneau de référence d'épaisseur $h_p = 20 \text{ mm}$ et de masse volumique caractéristique $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$) :

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \cdot \sqrt{\frac{20}{h_p}}$$

La masse volumique caractéristique ρ_k est donnée dans les normes NF EN 12369-1 et NF EN 12369-2. Pour certains matériaux, elle peut varier selon l'épaisseur du panneau.

Le tableau suivant donne la **vitesse de combustion unidimensionnelle pour les panneaux à base de bois courants**, qui sont utilisés dans ce guide comme solution de protection rapportée.

Type de panneau	ρ_k [kg/m ³]	$\beta_{0,\rho,t}$ [mm/min] selon épaisseur h_p du panneau [mm]								
		8	10	12	15	16	18	19	22	25
OSB (OSB/3 ou OSB/4)	550			1,05	0,94		0,85		0,77	
PANNEAU DE PARTICULES (CTB-H)	650	1,18	1,05	0,96						
	600					0,87	0,82	0,79		
MDF	550								0,77	0,72
CONTREPLAQUE (CTB-H ou CTB-X)	400	1,67	1,50		1,22		1,11		1,01	0,94
	450	1,58	1,41		1,15		1,05		0,95	0,89

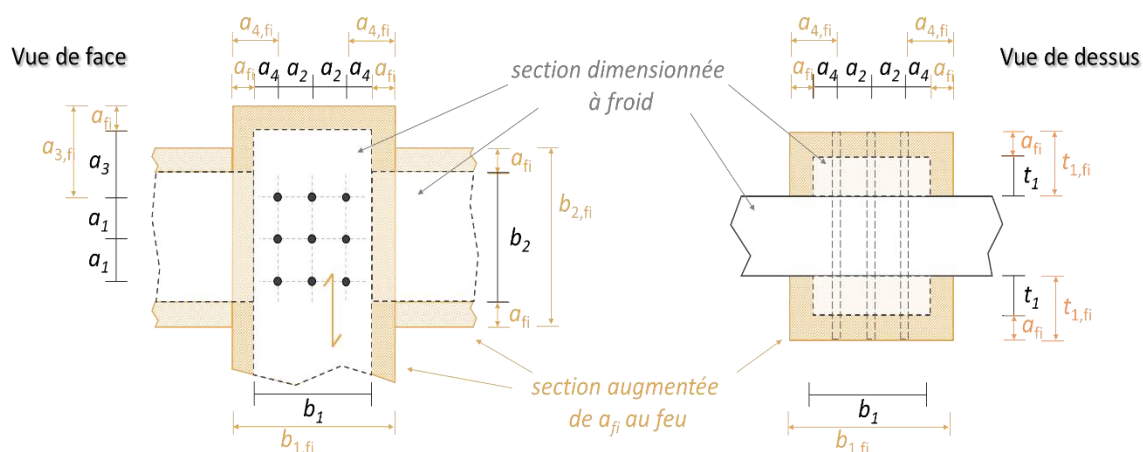
4.4. SURCOTE ET PROTECTIONS

PRINCIPE DE L'AUGMENTATION DES SECTIONS DE BOIS ET DES PINCES

Un degré supérieur de résistance au feu peut être atteint par augmentation de la section des pièces de bois au moyen d'une surcote a_{fi} ajoutée :

- à l'épaisseur t_1 (et le cas échéant t_2) des pièces latérales $t_{1,fi} = t_1 + a_{fi}$
- à la largeur b_1 (et le cas échéant b_2) des pièces latérales $b_{1,fi} = b_1 + a_{fi}$
- aux pincés minimaux de l'assemblage selon NF EN 1995-1-1, §8 $a_{3,fi} = a_3 + a_{fi}$ et $a_{4,fi} = a_4 + a_{fi}$

étant entendu que la largeur définitive de la pièce de bois est la plus grande valeur entre $b_{1,fi}$ et b_1 augmentée pour tenir compte des pincés augmentés $a_{3,fi}$ et $a_{4,fi}$.

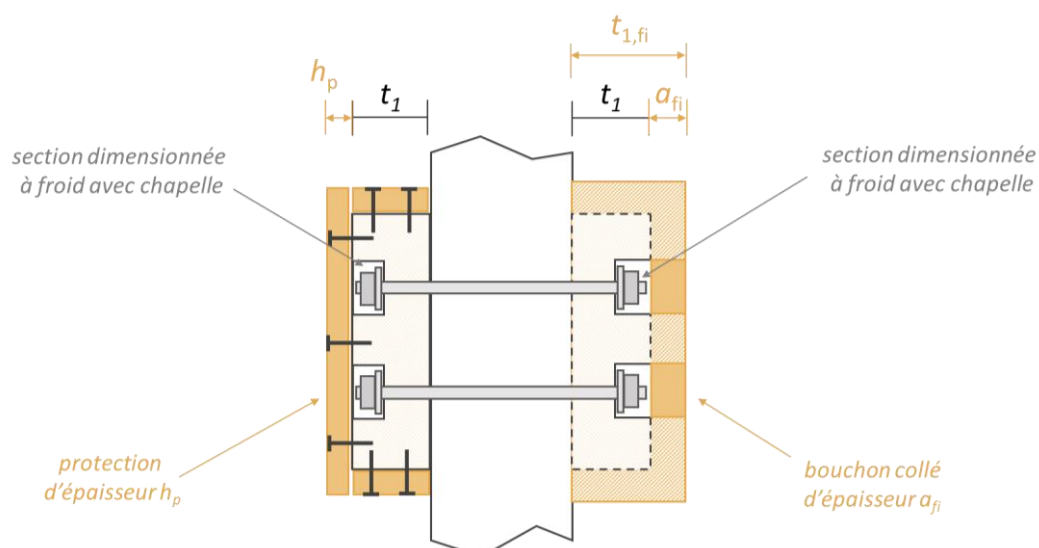


PROTECTION DES TETES DE BOULONS D'ASSEMBLAGES BOULONNES

Dans le cas d'assemblages boulonnés, ou lorsque les boulons de serrage des assemblages brochés ont été pris en compte dans la résistance à froid de l'assemblage, les têtes de boulons doivent être :

- soit protégées par des bouchons d'épaisseur a_{fi} ;
- soit intégralement protégés par le panneau d'épaisseur h_p .

Afin d'éviter une surépaisseur supplémentaire, ceci peut être anticipé en dimensionnant dès le départ l'assemblage boulonné à froid avec une chapelle assurant que la tête de boulon soit à fleur de la face de la pièce de bois.



DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES RELATIVES AUX PROTECTIONS RAPPORTEES

L'ajout de protections au droit de l'assemblage permet d'augmenter la durée de résistance au feu. Les protections sont une **alternative à l'augmentation de section et des pinces pour atteindre un degré de résistance de 30 minutes**. Elles sont **systématiquement nécessaires pour atteindre un degré de résistance de 60 minutes**.

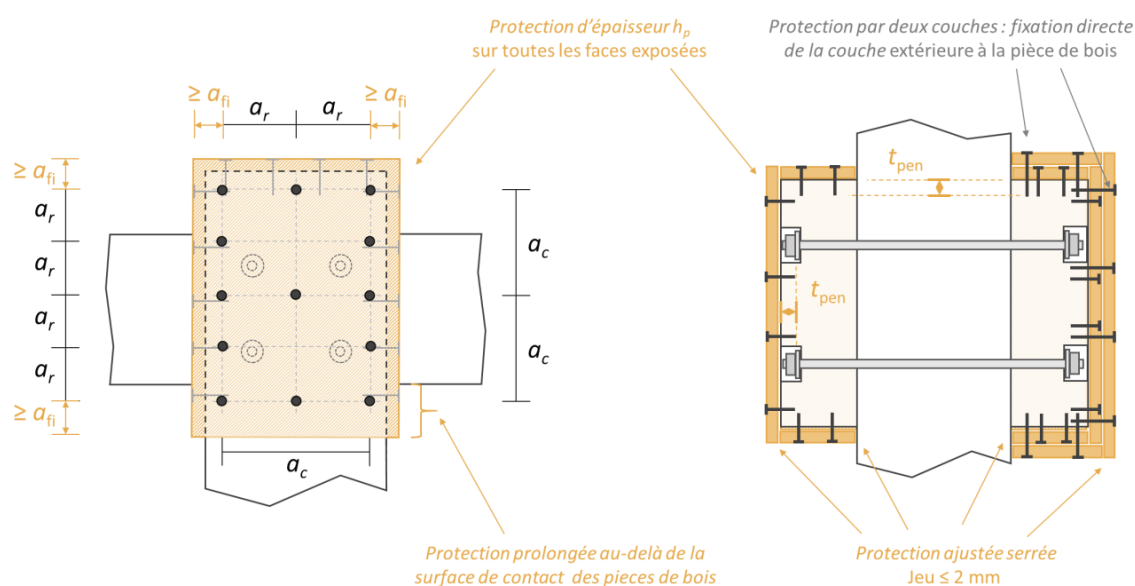
Le présent guide couvre les solutions de protection réalisées au moyen de :

- Panneautage bois rapporté : bois massif, lamellé-collé ou lamibois (LVL) (*)
- Panneaux à base de bois(*) :
 - Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300
 - Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312)
 - MDF selon NF EN 622-5
 - Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400 \text{ kg/m}^3$
- Plaques de plâtre de type A ou H (standard) ou de type F (Feu).

(*) *panneautage ou panneaux non revêtus ou dont le revêtement ne dégrade pas le classement en réaction au feu D-s₂d₀*

Afin d'atteindre le degré de résistance recherché, la protection choisie doit être réalisée et fixée dans le respect des dispositions suivantes (dimensions illustrées dans la figure ci-dessous) :

- la protection doit couvrir chacune des faces exposées au feu (il peut donc être nécessaire de couvrir aussi bien la largeur que l'épaisseur et l'extrémité des pièces de bois) ;
- la protection doit couvrir *a minima* la surface de contact entre les pièces de bois assemblées ;
- la protection doit être ajustée serrée afin d'éviter les jeux ou interstices de plus de 2 mm ;
- les fixations de la protection sont réalisées par pointes ou par vis et respectent les règles suivantes :
 - la profondeur de pénétration à froid t_{pen} des fixations de diamètre d est d'au moins $6.d$ – cette exigence est portée à une pénétration résiduelle de 10 mm dans la partie non carbonisée pour les plaques de plâtre de type F « feu » (cette exigence est décrite de manière détaillée dans les tableaux correspondants) ;
 - l'espacement entre fixations en rive a_r ne doit pas excéder 100 mm ;
 - l'espacement entre fixations en partie centrale a_c ne doit pas excéder 300 mm ;
 - les pinces sont supérieures ou égales à la dimension a_{fi} donnée dans les tableaux correspondants ;
- si la protection est composée de plusieurs couches, chaque couche est fixée individuellement directement à la pièce de bois (la fixation d'une couche sur l'autre n'est pas permise), en respectant des espacements identiques



PRINCIPE DE LA PROTECTION RAPPORTEE

Une protection rapportée a pour objet de retarder le début de la combustion de l'élément qu'elle protège. On définit :

- t_{ch} le temps (ou la durée avant) de démarrage de la combustion
⇒ Avant le démarrage de la combustion, cette dernière est nulle, l'élément protégé conserve son intégrité.
- t_f le temps (le moment) de la rupture de la protection
⇒ La combustion peut démarrer avant la rupture de la protection, mais à une vitesse inférieure à celle du Tableau 3.1.
- t_a le temps (la durée) postérieur à t_f pendant lequel la vitesse de combustion est accélérée
⇒ Il correspond au moment où la profondeur de carbonisation est égale à 25 mm ou à la profondeur de carbonisation d'un élément identique sans protection. La vitesse de combustion entre t_f et t_a est en général le double de celle du Tableau 3.1.

Le temps de démarrage de combustion t_{ch} se calcule comme suit, selon le type de protection d'épaisseur h_p :

- pour le panneautage bois et les panneaux à base de bois : $t_{ch} = h_p / \beta_0$
- pour les plaques de plâtre « standard » (type A ou H) ou « feu » (type F) :
 - lorsque les joints et éventuels interstices sont comblés ou n'excèdent pas 2 mm $t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$
 - lorsque les joints éventuels interstices excèdent 2 mm : $t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 23$

Note : Ce guide impose de s'assurer que les joints et éventuels interstices sont comblés ou n'excèdent pas 2 mm. Au vu du caractère localisé de la protection d'une zone d'assemblage, les joints sont en général limités aux seules arêtes des pièces de bois/plaques de protection.

Lorsque la protection est formée de deux couches (ou plus) de protection, on détermine le temps de démarrage de combustion du complexe t_{ch} en fonction de celui ($t_{ch,int}$) de la couche intérieure (en contact direct avec l'élément protégé) et celui ($t_{ch,ext}$) la couche extérieure (exposée en premier au feu) :

- pour le panneautage bois et les panneaux à base de bois : $t_{ch} = t_{ch,int} + t_{ch,ext}$
- pour les plaques de plâtre « standard » (type A ou H) : $t_{ch} = 0,5 \cdot t_{ch,int} + t_{ch,ext}$
- pour les plaques de plâtre « feu » (type F) : $t_{ch} = 0,80 \cdot t_{ch,int} + t_{ch,ext}$

Note : Il est donc préférable de toujours positionner la plaque de plâtre la plus épaisse à l'extérieur. Il est en outre important de respecter l'ordre des couches indiqué dans les tableaux de solutions de ce guide.

La NF EN 1995-1-2 donne au §6.2.1.2 les exigences relatives à la protection des assemblages. Les exigences relatives à la mise en œuvre des protections ont été détaillées en page précédente. Le temps de démarrage de combustion t_{ch} de la protection doit en outre vérifier :

Pour une protection en panneautage bois, panneaux à base de bois ou plaque de plâtre « standard » (type A ou H) :

$$t_{ch} \geq t_{req} - 0,5 \cdot t_{d,fi}$$

Pour une plaque de plâtre « feu » (type F) :

$$t_{ch} \geq t_{req} - 1,2 \cdot t_{d,fi}$$

avec : t_{req} la durée de résistance requise (15, 30 ou 60 minutes)

$t_{d,fi}$ la durée de résistance sans protection donnée

soit par la méthode simplifiée (Tableau 6.1),

soit par la méthode de la charge réduite :

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left(\frac{\eta_{fi} \cdot \eta_0 \cdot k_{mod} \cdot \gamma_{M,fi}}{k_{fi} \cdot \gamma_M} \right)$$

Note : On voit ici que, si le temps de démarrage de combustion ne diffère pas entre les plaques de plâtre « standard » et les plaques de plâtre « feu », le bénéfice de la plaque de type F est très important en termes de temps de démarrage de combustion requis. Bénéfice qui augmente encore en cas de couches multiples.

TEMPS DE DEMARRAGE DE LA COMBUSTION

Le tableau suivant donne le **temps de démarrage de la combustion t_{ch} pour les panneaux à base de bois et plaques de plâtres courants**, dans les diverses configurations qui sont (ou non) utilisés dans ce guide comme solution de protection rapportée.

PANNEAUX A BASE DE BOIS – COUCHE SIMPLE

Type de panneau	Temps de démarrage de combustion t_{ch} [min] selon épaisseur h_p du panneau [mm]								
	8	10	12	15	16	18	19	22	25
OSB ⁽¹⁾			11,42	15,95	17,57	20,96		28,32	
PANNEAU DE PARTICULES ⁽²⁾ OU MDF ⁽³⁾	6,76	9,44	12,41		18,35	21,90	23,75	28,32	34,30
CONTREPLAQUE ⁽⁵⁾	4,77	6,67		12,25		16,09		21,74	26,35

PANNEAUX A BASE DE BOIS – COUCHES MULTIPLES

Type de panneau	Epaisseur totale de la protection [mm]											
	32	36	37	38	40	41	43	44	45	47	48	50
	Temps de démarrage de combustion t_{ch} [min] selon configuration des couches [mm]											
	2 x 16	2 x 18	15 + 22	2 x 19	18 + 22	19+22	18 + 25	2 x 22	3 x 15	22 + 25	3 x 16	2 x 25
OSB ⁽¹⁾	35,14	41,92	44,27		49,28			56,64	47,85		52,71	
PANNEAU DE PARTICULES ⁽²⁾ OU MDF ⁽³⁾	36,70	43,80		47,50	50,22	52,07	56,20	56,64		62,62	55,05	68,60
CONTREPLAQUE ⁽⁴⁾					37,83		42,44	43,48		48,09		52,70

⁽¹⁾ Panneau OSB/3 ou OSB/4 selon NF EN 300

⁽²⁾ Panneau de particules CTB-H (P5 ou P7 selon NF EN 312)

⁽³⁾ MDF selon NF EN 622-5

⁽⁴⁾ Panneau contreplaqué CTB-H ou CTB-X, selon NF EN 636, de masse volumique caractéristique $\rho_k \geq 400 \text{ kg/m}^3$

PLAQUES DE PLATRE « STANDARD » (TYPE A OU H)

Type de panneau	Epaisseur totale de la protection [mm]											
	12,5	15,0	18,0	25,0	27,5	30	30,5	33,0	36,0	37,5	45,0	54,0
	Temps de démarrage de combustion t_{ch} [min] selon configuration des couches [mm]											
	BA 13	BA 15	BA 18	2x BA 13	BA 13 + BA15	2x BA 15	BA 13 + BA 18	BA 15 + BA 18	2x BA 18	3x BA 13	3x BA 15	3x BA 18
PLAQUE LA PLUS EPAISSE A L'EXTERIEUR	21,00	28,00	36,40	31,50	38,50	42,00	46,90	50,40	54,60	42,00	56,00	72,80
PLAQUE LA PLUS FINE A L'EXTERIEUR					35,00		39,20	46,20				

PLAQUES DE PLATRE « FEU » (TYPE F)

Type de panneau	Epaisseur totale de la protection [mm]											
	12,5	15,0	18,0	25,0	27,5	30	30,5	33,0	36,0	37,5	45,0	54,0
	Temps de démarrage de combustion t_{ch} [min] selon configuration des couches [mm]											
	BA 13	BA 15	BA 18	2x BA 13	BA 13 + BA15	2x BA 15	BA 13 + BA 18	BA 15 + BA 18	2x BA 18	3x BA 13	3x BA 15	3x BA 18
PLAQUE LA PLUS EPAISSE A L'EXTERIEUR	21,00	28,00	36,40	37,80	44,80	50,40	53,20	58,80	65,52	54,60	72,80	94,64
PLAQUE LA PLUS FINE A L'EXTERIEUR					43,40		50,12	57,12				

FIXATION DES PLAQUES DE PLATRE

De manière générale, les protections sont usuellement fixées par pointes ou par vis, et la profondeur de pénétration à froid t_{pen} des fixations de diamètre d doit être d'au moins $6 \cdot d$ (NF EN 1995-1-2, §6.2.1.2(7)). D'autres exigences de mise en œuvre ont été détaillées précédemment. Des exigences supplémentaires s'appliquent aux protections en plaque de plâtre :

- seules les fixations par vis sont adaptées ;
- en cas de couches multiples, il convient de s'assurer que l'espacement des fixations dans la couche interne ne soit pas supérieur à l'espacement des fixations de la couche externe (dont on rappelle qu'elles sont chacune fixée indépendamment directement à l'élément protégé).

En outre, **pour les plaques de plâtre « feu » (type F), la profondeur de pénétration à froid t_{pen} des fixations doit être suffisante pour assurer une pénétration résiduelle de 10 mm dans la partie non carbonisée.** Ceci a pour but de s'assurer que la plaque de plâtre « feu » reste en place pendant toute la période de résistance requise t_{req} .

Cette disposition est donc dépendante de la durée de résistance visée t_{req} , du temps de démarrage de combustion t_{ch} de la protection en plaque de plâtre « feu » et de la vitesse de combustion unidimensionnelle de l'élément protégé β_0 et par extension du temps t_a de vitesse de combustion accélérée.

Dans le cas des protections par panneautage bois, panneaux à base de bois ou plaques de plâtre « standard » (type A ou H) liaisons aux poutres ou poteaux (§3.4.3.4(1) et (2)), il est précisé que le temps de rupture t_f est déterminé par :

$$t_f = t_{ch}$$

Aucune précision n'est donnée pour les plaques de plâtre « feu » (type F). Il est par contre demandé par le biais de l'exigence de pénétration résiduelle dans le bois non carbonisé que la protection reste en place pendant toute la durée de résistance requise.

En outre, lorsque $t_{ch} < t_f$, la vitesse de combustion est réduite par rapport à celle du Tableau 3.1, ce qui serait favorable.

Dans ce guide on considère en conséquence de manière sécuritaire $t_f = t_{ch}$ également pour les plaques de plâtre « feu ».

On détermine le temps t_a de vitesse de combustion accélérée selon le §4.3.3.2(5) en substituant directement t_f par t_{ch} :

$$t_a = \min \left\{ 2 \cdot t_{ch} ; \frac{25}{k_3 \cdot \beta_0} + t_{ch} \right\} \quad \text{où :} \quad k_3 = 2,0 \text{ lorsque } t_f = t_{ch} \leq t < t_a$$

La longueur des fixations doit vérifier : $l_{t,req} = h_p + d_{char,0} + l_a$ où : $l_a = 10 \text{ mm}$

Ce qui équivaut à : $t_{pen} = d_{char,0} + 10 \text{ mm}$

On illustre le calcul par l'exemple d'une protection en BA 18 « feu » ($t_{ch} = 36,4 \text{ min}$) sur un élément en bois massif résineux ($\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$), pour une durée de résistance de $t_{req} = 60 \text{ minutes}$:

$$t_a = \min \left\{ 2 \cdot 36,4 ; \frac{25}{2 \cdot 0,65} + 36,4 \right\} = \min \left\{ 72,8 ; \frac{25}{2 \cdot 0,65} + 55,63 \right\} = 55,63 \text{ min}$$

$$t_{ch} \leq t < t_a \Rightarrow \Delta t_1 = t_a - t_{ch} = 55,6 - 36,4 = 19,2 \text{ min} \Rightarrow d_{char,0,1} = k_3 \cdot \beta_0 \cdot \Delta t_1 = 2 \cdot 0,65 \cdot 19,2 = 25 \text{ mm}$$

$$t_a \leq t \leq t_{req} \Rightarrow \Delta t_2 = t_{req} - t_a = 60 - 55,6 = 4,4 \text{ min} \Rightarrow d_{char,0,2} = \beta_0 \cdot \Delta t_2 = 0,65 \cdot 4,4 = 2,9 \text{ mm}$$

$$\text{et donc :} \quad t_{pen} = d_{char,0,1} + d_{char,0,2} + 10 \text{ mm} = 25 + 2,9 + 10 \approx 38 \text{ mm}$$

DIMENSIONNEMENT AU FEU DES ASSEMBLAGES PAR FERRURES METALLIQUES CONFORMEMENT AUX EUROCODES

Ce guide s'adresse aux professionnels de la filière bois, qui, dans le cadre de chantiers de structures bois, se trouvent confrontés à des problématiques de dimensionnement selon l'Eurocode 5 des assemblages de structure bois.

Le lecteur pourra trouver dans ces pages des méthodes de justification des assemblages bois-bois et bois-métal par organes de fixation de type tige (pointes, vis et tirefonds, boulons ou broches) en situation d'incendie.

Après un rappel des principales exigences réglementaires et des principes généraux qui encadrent le dimensionnement de ce type d'assemblage, le lecteur trouvera dans les deux principales parties de ce guide des méthodes de justification simples, ainsi que des méthodes de justification avancées.

Chacune d'entre elle permet de trouver rapidement des solutions satisfaisant aux degrés de résistance au feu courants (15, 30 et 60 minutes) sans nécessité de procéder à la vérification détaillée de l'assemblage en situation d'incendie selon NF EN 1995-1-2.

Le lecteur trouvera enfin dans la dernière partie de ce guide l'explication complète de la méthodologie utilisée pour bâtir celui-ci, ainsi que des éléments d'information complémentaires relatifs à ce type de vérification.

Notons que ces points de repère n'ont qu'une valeur d'exemple et n'exonèrent pas le professionnel de sa responsabilité de l'exercice de ses devoirs professionnels.

AUTEUR :



31 allée de l'Economie
67437 Wiwersheim
Tel +33 (0) 821 20 20 04
Fax +33 (0) 355 03 56 20
contact.FR@c4ci.eu
www.c4ci.fr

FINANCEMENT :

