

**FRANCE DOUGLAS
SAFRAN
2 AVENUE GEORGES GUINGOUIN
CS 80912 PANAZOL**


87017 LIMOGES CEDEX 1

RAPPORT DE MISSION :

N° 2017.177.0272

ETUDE DE FAISABILITE

**LAMELLES DOUGLAS D'ÉPAISSEUR 40MM EN
CLASSE DE SERVICE 3 – ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE**

FCBA
Pôle Industries Bois Construction
CIAT / Julien Brassy
 **05.56.43.63.38 - julien.brassy@fcba.fr**

Siège social
10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
Tél +33 (0)1 72 84 97 84
www.fcba.fr

Siret 775 680 903 00132
APE 7219Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Bordeaux
Allée de Boutaut – BP227
33028 Bordeaux Cedex
Tél +33 (0)5 56 43 63 00

29 Septembre 2017

SOMMAIRE/REFERENCES

1. OBJECTIF DE LA MISSION	6
2. DESCRIPTIF DE LA MISSION.....	7
3. Normes européennes sur les produits bois structuraux collés	8
3.1 NF EN 14080 :2013 – Structures en bois – Bois lamellé-collé et bois massif reconstitué - Exigences	8
3.1.1 Annexe B : Méthodes d'essai supplémentaires et exigences pour les adhésifs – B.2 : Essai de charge à long terme dans les conditions climatiques cycliques avec des éprouvettes chargées perpendiculairement au joint de collage pour les colles polyuréthane mono composant polymérisant sous effet de l'humidité et colles polymères isocyanates en émulsion.....	8
3.1.2 Annexe B : Méthodes d'essai supplémentaires et exigences pour les adhésifs – B.3 : Essai de délamination des aboutages à entures multiples dans les lamelles	10
3.1.3 Annexe C : Essai de délamination des joints de collage	11
3.1.4 Annexe D : Essai de cisaillement des joints de collage.....	12
3.2 NF EN 16351 :2015 – Structures en bois – Bois lamellé croisé - Exigences....	13
3.2.1 Annexe B : Méthodes d'essai supplémentaires et exigences pour les adhésifs	13
3.2.2 Annexe C : Essai de délamination des joints de collage	13
3.2.3 Annexe D : Essai de cisaillement des joints de collage.....	13
3.2.4 F.3.2 : Résistance au cisaillement (roulant) et rigidité déterminées à partir des essais de flexion.....	15
3.2.5 F.3.3 : Résistance au cisaillement (roulant) et rigidité déterminées à partir d'essai de cisaillement (méthode d'essai alternative)	16
3.3 Projet de norme « Bonding standard » - Structures en bois – Adhésifs, application de l'adhésif, exigences minimales de fabrication et méthode d'essai pour les liaisons dans les éléments et produits bois structuraux collés.	17
3.3.1 Annexe C : Essai de délamination des joints de collage	17
3.3.2 Annexe D : Essai de cisaillement des joints de collage.....	17

4. Normes européennes autres que celles sur le lamellé-collé 18

4.1 NF EN 301 :2013 – Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance 18

4.2 NF EN 302 18

4.2.1 Généralités..... 18

4.2.2 NF EN 302-1 :2013 – Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 1 : Détermination de la résistance du joint au cisaillement en traction longitudinale 18

4.2.3 NF EN 302-2 : 2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 2 : Détermination de la résistance à la délamination 21

4.2.4 NF EN 302-3 : 2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 3 : Détermination de l'influence de l'attaque acide des fibres de bois, résultant de traitements cycliques en température et humidité sur la résistance à la traction transversale 23

4.2.5 NF EN 302-4 :2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 4 : Détermination de l'influence du retrait du bois sur la résistance au cisaillement 26

4.2.6 NF EN 302-5 :2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 5 : – Détermination du temps d'assemblage maximal dans des conditions de référence..... 30

4.2.7 NF EN 302-6 : 2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 6 : Détermination du temps de serrage minimum dans des conditions de référence..... 32

4.2.8 NF EN 302-7 :2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 7 : Détermination de la durée d'utilisation dans des conditions de référence 32

4.3 NF EN 408 + A1 :2012 – Structures en bois – Bois de structure et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques 33

4.3.1 Détermination de la résistance au cisaillement axial 33

4.4 NF EN 789 : 2005 – Structures en bois – Méthodes d'essai – Détermination des propriétés mécaniques des panneaux à base de bois 35

4.4.1 Propriété de cisaillement roulant..... 35

4.5 NF EN 15416 37

4.5.1 Généralités..... 37

4.5.2 NF EN 15416-1 : 2017 – Adhésifs pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essais – Partie 1 : essai de charge soutenue à long terme dans des conditions cycliques avec des éprouvettes chargées perpendiculairement au joint de colle (essai de serre) 37

4.5.3 NF EN 15416-2 : 2008 – Adhésifs pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essais – Partie 2 : essai de charge statique des éprouvettes à plan de joint multiple en cisaillement par compression. 43

4.5.4	NF EN 15416-3 : 2017 – Adhésifs pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essai – Partie 3 : essai de déformation par fluage dans des conditions climatiques cycliques avec des éprouvettes chargées en cisaillement par flexion.....	48
4.5.5	NF EN 15416-4 : 2006 – Adhésif pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essai – Partie 4 : Détermination du temps d'assemblage ouvert pour adhésifs à base de polyuréthane monocomposants.....	52
4.5.6	NF EN 15416-5 :2017 – Adhésif pour structure portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthode d'essai – Partie 5 : Détermination du temps de pressage minimal dans des conditions de référence.....	54
4.6	NF EN 15425 : 2017 - Adhésifs - Adhésifs polyuréthane monocomposants (PUR) pour structures portantes en bois - Classification et exigences de performance.....	56
4.7	NF EN 16254+A1 : 2016 – Adhésifs – Isocyanate polymérisé en émulsion (EPI) pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance.....	56
5.	Documents du WCTE	57
5.1	WCTE 1998.....	57
5.2	WCTE 2008.....	57
5.3	WCTE 2012.....	57
5.4	WCTE 2014.....	57
5.5	WCTE 2016.....	57
6.	Recueils de l'INTER.....	58
7.	Normes internationales sur le lamellé-collé.....	59
7.1	ANSI A190.1-2012 : American national standard – standard for wood products – Structural Glued Laminated Timber.....	59
7.1.1	AITC Test T107-2007 – Shear Test.....	59
7.1.2	AITC Test T110-2007 – Cyclic Délamination Test.....	61
7.2	ASTM 2559-12a : 2012 – Standard Specification for Adhesives for bonded structural wood products for use under exterior exposure conditions	62

7.3	CSA 0122-16 : 2016 – Structural glued laminated timber	65
7.3.1	Essai de cisaillement.....	65
7.3.2	Essai de cycle de vide-pression.....	67
7.4	ISO/DIS 8375 : 2016 – Structures en bois – Bois lamellé-collé – Méthodes d’essai pour la détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques	68
7.5	ISO 10983 : 2014 – Timber – Finger Joints – Minimum production requirements and testing methods	68
7.6	ISO 12578 :2016 – Timber structures – Glued laminated timber – Component performance requirements	69
7.7	ISO 12579 : 2007 -Timber Structures – Glued laminated timber – Method of test for shear strength of glue lines	70
7.8	ISO 12580 : 2007 – Timber Structures – Glued laminated timber – Methods of test for glue-line delamination.....	72
7.9	ISO/DIS 16696-1 : 2017 - Timber Structures – Cross laminated timber – Part 1 : Component performance and production requirements	73
7.10	ISO 20152-1 :2010 – Timber Structures – Bond performance of adhesives – Part 1 : Basic requirements	74
7.11	Japanese Agricultural Standard for Glued laminated timber.....	78
8.	Synthèse et pistes d’optimisation du protocole proposé par fcba	80
8.1	Etat des lieux au niveau international sur les éventuels études et essais déjà réalisés en lien avec la problématique.....	80
8.2	Etat des lieux au niveau international sur les éventuels protocoles d’essai existants qui pourraient permettre de répondre à la problématique	80
8.3	Nouvelles pistes d’optimisation du protocole proposé par FCBA	80

1. OBJECTIF DE LA MISSION

En 1995, la première version de la NF EN 386 impose notamment une limite à 35mm pour l'épaisseur des lamelles en classe de service 3.

La NF EN 14080 en vigueur à l'heure actuelle limite toujours l'épaisseur des lamelles à 35mm en classe de service 3 en précisant cependant que pour le lamellé-collé qui n'entre pas comme composant de bois lamellé en bloc et qui présente une surface de section jusqu'à 60000mm², cette valeur peut être augmentée suite à un accord entre le fabricant et le client.

La version en cours de révision de la NF EN 14080 dont nous disposons à ce jour donne les mêmes préconisations.

Dans ce contexte, les adhérents de France Douglas ont dans un premier temps souhaité connaître l'origine de cette limite de 35mm ainsi que l'origine de la limite de 60000mm² de la normalisation européenne. Cette enquête a été menée et, pour résumer, a mis en évidence :

- Que la limite de 35mm est empirique ;
- Que la limite de 60000mm² est le résultat d'un consensus ;
- Que pour porter la demande de modification devant le WG3, une étude, prouvant que le passage de 35 à 40 mm pour l'épaisseur des lamelles en classe de service 3 est faisable et n'impacte pas la pérennité des éléments concernés, était nécessaire.

Aucune étude en lien avec ces deux limites de la norme européenne n'a pu être trouvée dans le cadre de cette enquête, qui conformément à la demande, n'avait pour périmètre que la norme européenne sur le lamellé-collé.

Suite à cette première étape et pour poursuivre la démarche, France Douglas souhaite maintenant lancer une étude de faisabilité dont l'objectif est de prouver que le passage de 35 à 40 mm pour l'épaisseur des lamelles en classe de service 3 est faisable et n'impacte pas la pérennité des éléments concernés.

L'étude de faisabilité proposée comprend trois phases :

- Phase 1 : une étude bibliographique de portée internationale ;
- Phase 2 : la définition, la réalisation des essais et leur interprétation ;
- Phase 3 : en fonction des résultats des essais, la présentation de l'étude de faisabilité devant le WG3.

L'étude bibliographique était initialement envisagée comme partie intégrante de la phase essais. Après réflexion et dans un souci d'optimisation de la démarche, FCBA a proposé de réaliser en premier lieu et indépendamment l'étude bibliographique qui est l'objet du présent rapport.

2. DESCRIPTIF DE LA MISSION

FCBA a réalisé une étude bibliographique qui n'a pas les mêmes objectifs que l'enquête qui a été menée précédemment et aura une portée plus large puisqu'internationale. De plus, elle n'est pas limitée au contexte normatif de la EN 14080 ni aux limites qu'elle impose.

Cette étude bibliographique a pour objectifs :

- de faire un état des lieux au niveau international sur les éventuels études et essais déjà réalisés en lien avec la problématique. En outre, les membres du WG3 ayant, en 2010, fait des propositions dans le sens de celle que souhaite faire France Douglas seront contactés dans cette optique pour voir s'ils ont poursuivi leur démarche et lancé des études spécifiques ;
- de faire un état des lieux au niveau international sur les éventuels protocoles d'essai existants qui pourraient permettre de répondre à la problématique ;
- d'obtenir potentiellement de nouvelles pistes d'optimisation du protocole dont FCBA finalise la mise au point ;
- de consolider et justifier toute l'étude de faisabilité en vue de sa présentation devant le WG3 suivant le résultat des essais qui feront l'objet d'une proposition séparée à l'issue de la mission objet de la présente proposition ;
- Pour résumer, de mettre toutes les chances de notre côté à ce stade afin que la démarche soit accueillie positivement par les membres du WG3 sous réserve du résultat des essais.

Dans le cadre de cette étude bibliographique, ont été examinés :

- Des normes européennes sur les produits bois structuraux collés : NF EN 14080, NF EN 16351, « bonding standard » ;
- Des normes européennes autres que celles sur le lamellé-collé, notamment les normes d'évaluation des adhésifs, pouvant proposer des protocoles d'essai qui pourraient permettre de répondre à la problématique ;
- Les documents disponibles du WCTE (World Conference on Timber Engineering) ;
- Les recueils de l'INTER (International Network on Timber Engineering Research, anciennement CIB-W18) ;
- Des normes autres que européennes sur le lamellé-collé : CSA 0122-16, ANSI A190.1, ASTM 2559, JAS 235, ISO 12578.

3. NORMES EUROPEENNES SUR LES PRODUITS BOIS STRUCTURAUX COLLES

3.1 NF EN 14080 :2013 – Structures en bois – Bois lamellé-collé et bois massif reconstitué - Exigences

La NF EN 14080 :2013 décrit les deux essais bien connus de délamination et cisaillement des joints de collage, respectivement en annexe C et annexe D. Ils sont totalement découplés, dans le sens où, à aucun moment, la norme n'envisage de réaliser l'un après l'autre.

La norme précitée décrit également notamment deux méthodes d'essais supplémentaires pour les adhésifs.

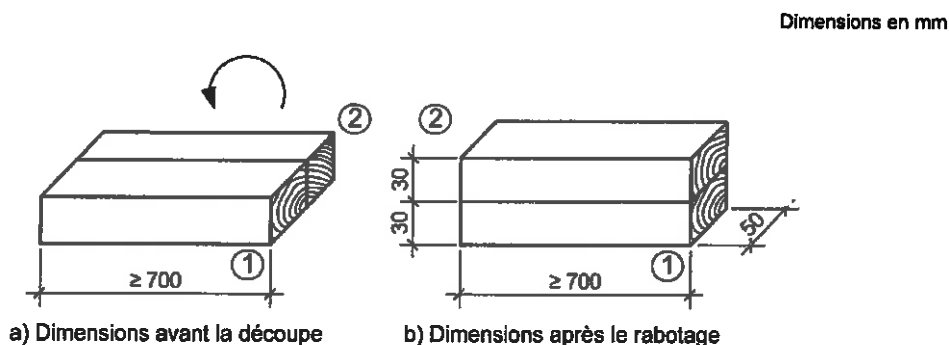
Une brève description de ces essais est donnée dans ce qui suit.

3.1.1 Annexe B : Méthodes d'essai supplémentaires et exigences pour les adhésifs – B.2 : Essai de charge à long terme dans les conditions climatiques cycliques avec des éprouvettes chargées perpendiculairement au joint de collage pour les colles polyuréthane mono composant polymérisant sous effet de l'humidité et colles polymères isocyanates en émulsion

Les éprouvettes sont en hêtre, avec une épaisseur de joint de collage de 0,1 mm et 0,5 mm. Les planches de hêtre dans lesquelles sont découpées les éprouvettes doivent être dépourvues de nœuds, de fil droit et avoir une masse volumique supérieure à 650 kg/m³ à 20 °C/65 % HR.

Avant la fabrication de l'éprouvette, le bois doit être conditionné dans une enceinte climatique dans des conditions de stockage de (20 ± 2) °C et (65 ± 5) % HR. La teneur en humidité doit être de (12 ± 1) %.

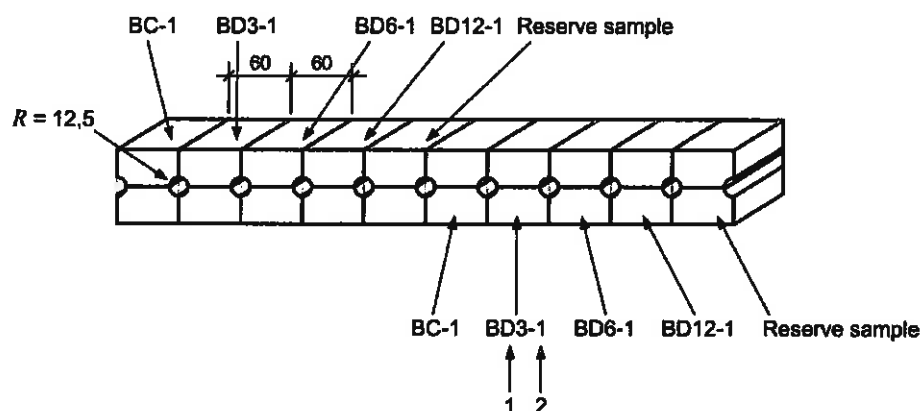
Les éprouvettes sont fabriquées tel que décrit par les figures ci-dessous.



Légende

1 et 2 Positions des coins avant la découpe et après le rabotage

Figure B.1 Schéma de découpe des composants des barreaux d'essai



Légende

- 1 Lot d'essai (BC= lot témoin, BD x = lot pour un essai après une période de x mois)
2 Numéro de l'éprouvette
3 éprouvette de réserve

Figure B.2 Schéma de découpe d'un barreau d'essai et numérotation des éprouvettes

Le mode opératoire d'essai doit comporter la série d'essais suivante :

- essai à court terme sur un lot témoin BC de 10 éprouvettes avec une mise en charge progressive. Les éprouvettes sont soumises à essai après 14 jours de conditionnement à $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et $(65 \pm 5) \% \text{ HR}$ après collage ;
- essai à long terme sur 3 lots BD3, BD6 et BD12, chacun de 10 éprouvettes, chaque lot devant faire l'objet d'une durée de charge différente, à savoir 3 mois, 6 mois et 12 mois. Tous les lots doivent être soumis aux mêmes cycles climatiques et au même niveau constant de contrainte spécifié ci-après. Au terme de chaque période de charge, toutes les éprouvettes d'un lot donné qui ont résisté doivent faire l'objet d'un essai de résistance à la traction résiduelle perpendiculairement au plan de colle avec une mise en charge progressive.

La contrainte constante, égale pour les trois durées de charge, doit être de 1 N/mm², rapporté à la section nette de 25 mm x 50 mm.

La condition climatique doit correspondre aux conditions naturelles extérieures de l'Europe comprise entre les latitudes 45 et 60 degrés avec une protection constituée d'un revêtement perméable à la lumière (verre pour habitat).

Une méthode alternative est d'utiliser une enceinte climatique avec des cycles climatiques variant par paliers de 24 h entre deux climats de $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(90 \pm 5)\%$ HR, et $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(40 \pm 5)\%$ HR.

Les éprouvettes soumises à l'essai de résistance résiduelle après retrait de la charge constante à long terme doivent être conditionnées pendant au moins 2 semaines à $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et $(65 \pm 5) \% \text{ HR}$ avant mise en charge progressive. La condition climatique doit être enregistrée.

La résistance moyenne à la traction perpendiculairement au fil du lot témoin BC et de chacun des lots BD3, BD6 et BD12 soumis à l'essai de résistance résiduelle après 3 mois, 6 mois et 12 mois de charge ne doit pas être inférieure à 5 N/mm². Dans chaque lot soumis à l'essai de charge à long terme, une seule éprouvette peut s'avérer défectueuse pour chacune des périodes de charge.

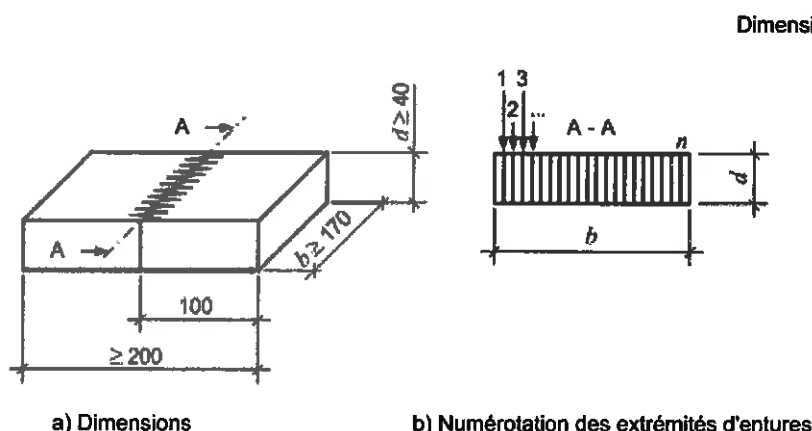
Si une éprouvette s'est avérée défectueuse en charge à long terme, la valeur moyenne de la résistance résiduelle du lot concerné doit être calculée à partir des 9 éprouvettes restantes.

3.1.2 Annexe B : Méthodes d'essai supplémentaires et exigences pour les adhésifs – B.3 : Essai de délamination des aboutages à entures multiples dans les lamelles

Les aboutages à entures multiples doivent être réalisés à l'aide d'épicéa (*Picea abies* L.). Les planches doivent présenter une épaisseur d'au moins 45 mm et une largeur d'au moins 185 mm avant l'aboutage et le rabotage. Sur une distance d'au moins 100 mm par rapport aux extrémités des entures, mesurée suivant l'axe longitudinal de la planche, les planches doivent être exemptes de nœuds d'un diamètre supérieur à 5 mm et d'autres particularités, tel que du bois de réaction, susceptibles d'altérer la résistance de l'aboutage à entures multiples. Les planches doivent avoir une masse volumique moyenne de (425 ± 25) kg/m³.

Un nombre suffisant d'aboutages à entures multiples doit être réalisé pour permettre le prélèvement de 10 éprouvettes pour chaque proportion de résine et de durcisseur à soumettre à essai.

Après un temps de durcissement d'au moins 7 jours, les planches aboutées doivent être rabotées à une épaisseur d'au moins 40 mm et à une largeur d'au moins 170 mm. Des éprouvettes ayant une longueur de 100 mm (mesurée suivant l'axe longitudinal de la planche) doivent être prélevées. Les éprouvettes doivent être prélevées de manière à ce qu'une partie de l'aboutage à entures multiples, ayant une longueur de $(l_i/2 \pm 1)$ mm, où l_i est la longueur d'enture (en mm), fasse partie de l'éprouvette et que l'aboutage soit visible au niveau de la découpe (voir Figure B.3).



Légende

1, 2, 3 Numéros des entures

Figure B.3 Éprouvette pour les essais de délamination avec aboutages à entures multiples dans les lamelles

Avant les essais, les éprouvettes sont pesées et la teneur en humidité u mesurée à l'aide d'un humidimètre conformément à l'EN 13183-2 ou à l'EN 13183-3.

Le poids corrigé à une teneur en humidité $u = 19$ % doit être calculé.

La longueur totale l_{tot} , joint de collage des joints de collage visibles au niveau des deux grandes faces de découpe de l'aboutage à entures multiples doit être mesurée.

Les éprouvettes doivent être soumises aux conditions cycliques suivantes : les éprouvettes sont totalement immergées dans de l'eau bouillante pendant 5 heures, puis dans de l'eau froide à (20 ± 5) °C pendant 1 heure. Les éprouvettes sont ensuite séchées dans un tunnel de séchage à une température de (60 ± 3) °C jusqu'à atteindre une teneur en humidité $u < 19$ %, mais au moins pendant 18 heures.

Dans l'heure qui suit la fin du dernier cycle de séchage, la longueur totale des délaminations $l_{\text{tot,délam}}$ doit être marquée et mesurée au niveau de la section transversale des éprouvettes.

Les ouvertures isolées des joints de collage ayant une longueur inférieure à 3 mm peuvent être ignorées.

La délamination totale d'une éprouvette doit être calculé à partir du rapport entre la longueur totale des délaminations et la longueur totale des joints de collage.

3.1.3 Annexe C : Essai de délamination des joints de collage

Un récipient sous pression doit être utilisé, conçu pour résister en toute sécurité à une pression d'au moins 600 kPa (pression absolue de 700 kPa) et une dépression d'au moins 85 kPa (pression absolue de 15 kPa), et équipé de pompes ou d'un dispositif similaire capables de créer une pression d'au moins 600 kPa (pression absolue de 700 kPa) et une dépression d'au moins 85 kPa (pression absolue de 15 kPa).

Trois méthodes, A, B et C, chacune avec un cycle différent associé, existent.

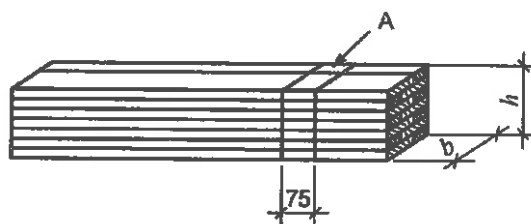
Il est ensuite nécessaire d'utiliser un tunnel de séchage où l'air circule à une vitesse de 2 m/s à 3 m/s (inclus), et à une température et une humidité relative telles qu'indiquées dans le Tableau C.1.

	Méthode A	Méthode B	Méthode C
Température (°C)	60 à 70	65 à 75	25 à 30
Humidité relative, HR (%)	< 15	8 à 10	25 à 35

Tableau C.1 Climat dans le tunnel de séchage pour les différentes méthodes

Chaque éprouvette d'essai doit être prélevée dans une section transversale entière des échantillons soumis à essai, débitée perpendiculairement au fil du bois. Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

Dimensions en mm



Légende

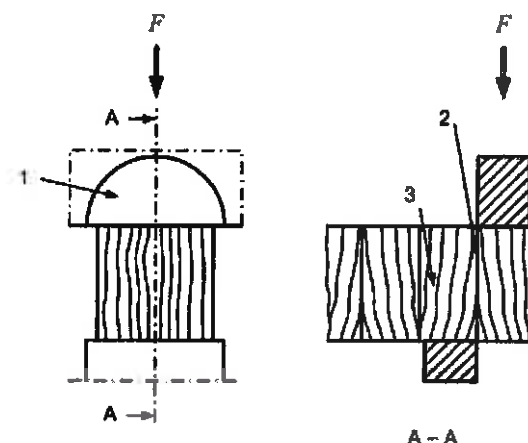
- A éprouvette d'essai
- b largeur
- h hauteur

Figure C.1 Éprouvette d'essai découpée dans un bois lamellé-collé ayant une largeur b supérieure à 300 mm

La mesure de la délamination et l'évaluation du résultat doivent avoir lieu dans l'heure qui suit le traitement de séchage final. La délamination totale des joints de collage sur les deux surfaces en bout doit être mesurée en millimètres.

3.1.4 Annexe D : Essai de cisaillement des joints de collage

Un dispositif de cisaillement, tel que représenté à la Figure D.1, doit être utilisé. L'appui à rotule doit s'aligner automatiquement de manière à ce que l'effort soit uniformément réparti sur la largeur de l'éprouvette d'essai dans le sens du bois de bout.

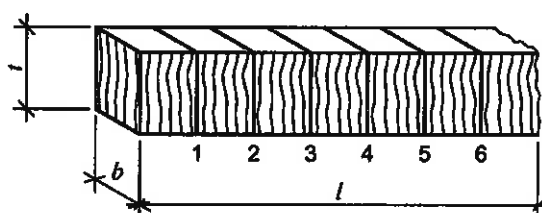


Légende

- 1 appui à rotule $F = \text{effort}$
- 2 plan de cisaillement
- 3 barreau d'essai fixé si nécessaire

Figure D.1 Dispositif de cisaillement avec barreau d'essai en place

Les éprouvettes doivent être représentatives de la fabrication. Les barreaux d'essai doivent être découpés dans des éprouvettes de section entière. Les dimensions des éprouvettes sont décrites par la figure ci-dessous :



Légende

- b largeur, de 40 mm à 50 mm
- l longueur
- t épaisseur, de 40 mm à 50 mm
- 1 à 6 numéro du joint de collage dans l'éprouvette

Les éprouvettes d'essai doivent être conditionnées jusqu'à une teneur en humidité d'équilibre dans l'atmosphère normale 20/65, c'est-à-dire à une température de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(65 \pm 5) \%$.

Après avoir noté la charge de rupture, il faut estimer le pourcentage de rupture dans le bois, arrondi au multiple de 5 le plus proche.

3.2 NF EN 16351 :2015 – Structures en bois – Bois lamellé croisé - Exigences

De la même manière que la NF EN 14080, à quelques différences près, la NF EN EN 16351 :2015 décrit les deux essais bien connus de délamination et cisaillement des joints de collage, respectivement en annexe C et annexe D.

En annexe F, sont également décrits deux essais pour déterminer la résistance au cisaillement roulant.

3.2.1 Annexe B : Méthodes d'essai supplémentaires et exigences pour les adhésifs

Cet essai est similaire à celui décrit au paragraphe 3.1.1 du présent document.

3.2.2 Annexe C : Essai de délamination des joints de collage

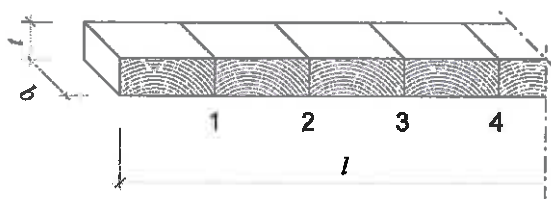
L'essai décrit est le même que celui de la NF EN 14080, à la différence qu'une seule méthode, équivalente à la méthode B, est présente.

Les éprouvettes d'essai doivent être préparées ou sélectionnées de manière à être représentatives du cycle de production. Elles doivent être prélevées dans le bois lamellé croisé soit sous forme de carottes ayant un diamètre minimal de (95 ± 5) mm, soit de découpes approximativement quadratiques ayant des longueurs latérales minimales de (100 ± 5) mm et une surface vue de dessus d'au moins 10,000 mm². L'épaisseur des éprouvettes doit être conforme à l'épaisseur du bois lamellé croisé dans lequel elles sont prélevées.

3.2.3 Annexe D : Essai de cisaillement des joints de collage

Le principe de l'essai est le même que celui de la NF EN 14080.

Pour l'essai des collages sur chant dans les couches de bois, les dimensions courantes des éprouvettes sont précisées par la figure D.2 ci-dessous :

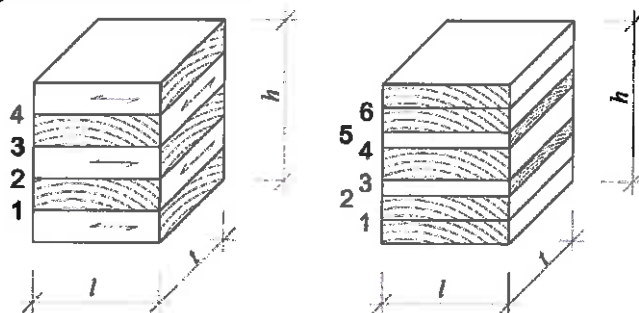


Légende

- b largeur, dimensions 40 mm à 50 mm
- l longueur
- t épaisseur de la couche de bois
- 1 à n numéro du joint de collage dans l'éprouvette

Figure D.2 Barreau d'essai et numérotation des joints de collage pour des couches de bois avec collages sur chant

Pour l'essai des joints de collage entre couches, les dimensions courantes des éprouvettes sont précisées par la figure D.3 ci-dessous :



a) barreau d'essai provenant d'un bois lamellé croisé comprenant des couches collées orthogonalement

b) barreau d'essai provenant d'un bois lamellé croisé comprenant des couches collées orthogonalement et des couches collées parallèlement au fil

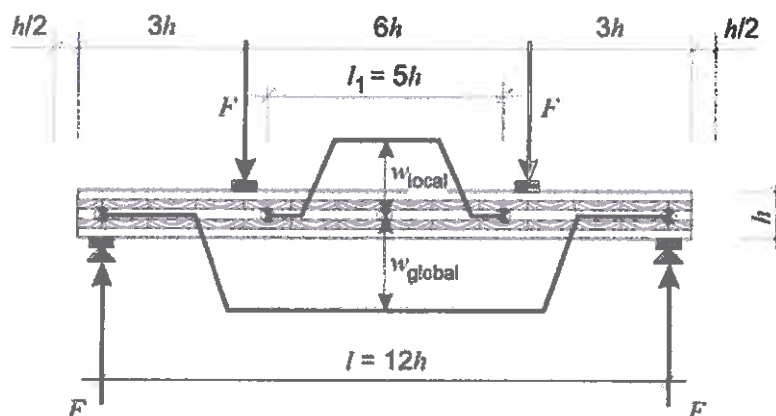
Légende

- l largeur, dimension 40 mm
- l longueur, dimension 40 mm
- h hauteur du barreau d'essai
- 1 à n numéro du joint de collage dans l'éprouvette

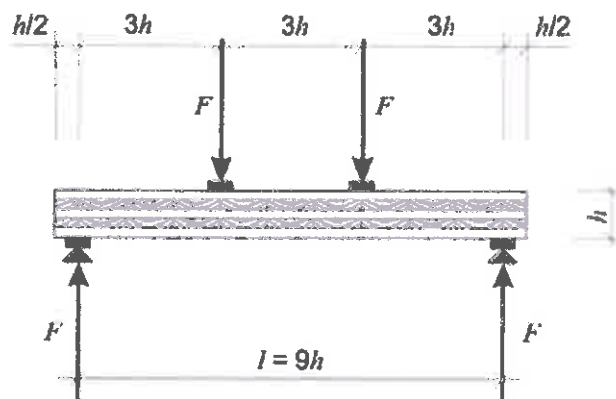
Figure D.3 Barreau d'essai et numérotation des joints de collage

3.2.4 F.3.2 : Résistance au cisaillement (roulant) et rigidité déterminées à partir des essais de flexion

Le principe de l'essai est décrit par la figure ci-dessous :



a) pour la détermination de la résistance au cisaillement roulant et de la rigidité



b) pour la détermination de la résistance au cisaillement roulant uniquement

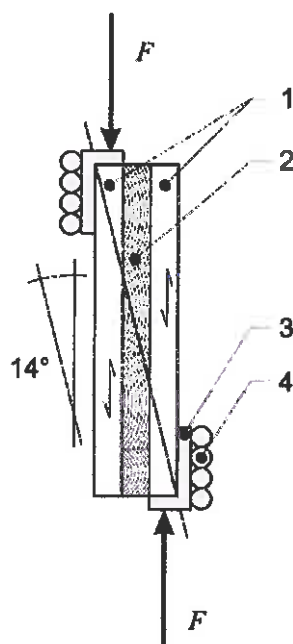
Légende

- h = hauteur de l'éprouvette
- l = portée de l'éprouvette
- l_1 = longueur de référence pour mesurer w_{local}
- w_{local} = flèche mesurée sur la longueur de la zone exempte de contrainte de cisaillement
- w_{global} = flèche mesurée sur toute la portée

Figure F.4 Essai de flexion pour la détermination de la résistance au cisaillement (roulant) et de la rigidité

3.2.5 F.3.3 : Résistance au cisaillement (roulant) et rigidité déterminées à partir d'essai de cisaillement (méthode d'essai alternative)

Cet essai est sur le même principe que celui décrit dans l'EN 789, §11.5 (voir plus loin). Ce principe est le suivant :



Légende

- 1 couches longitudinales de l'éprouvette
- 2 couche transversale de l'éprouvette
- 3 cornières en acier pour la transmission des charges
- 4 support sans frottement

Figure F.6 Essai de cisaillement avec un bois lamellé croisé

3.3 Projet de norme « Bonding standard » - Structures en bois – Adhésifs, application de l'adhésif, exigences minimales de fabrication et méthode d'essai pour les liaisons dans les éléments et produits bois structuraux collés.

Cette future norme reprendra toutes les exigences spécifiques aux adhésifs ainsi que les méthodes d'essais présentes dans les normes EN 14080, EN 16351 et EN 15497. Dans la prochaine version de ces trois normes, ces exigences et méthodes ne seront plus présentes. Ce paragraphe est basé sur le projet de document disponible au moment de la rédaction du présent document. La norme renvoie à l'annexe A de la NF EN 301 pour l'essai de délamination des aboutages à entures multiples dans les lamelles.

3.3.1 Annexe C : Essai de délamination des joints de collage

L'essai décrit est similaire à celui décrit dans l'EN 14080.

3.3.2 Annexe D : Essai de cisaillement des joints de collage

L'essai décrit est similaire à celui décrit précédemment.

4. NORMES EUROPEENNES AUTRES QUE CELLES SUR LE LAMELLE-COLLE

4.1 NF EN 301 :2013 – Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance

La NF EN 301 :2013 établit une classification des adhésifs de polycondensation de type phénolique ou aminoplaste en fonction de leur aptitude à l'emploi dans les structures portantes en bois dans des conditions d'exposition climatique définies. Elle spécifie les exigences de performances applicables à ces adhésifs uniquement lorsqu'ils sont utilisés pour la fabrication en usine de structures portantes en bois, ou dans des conditions similaires à la fabrication en usine. Les essais eux-mêmes sont définis dans les normes NF EN 302-1 à -7.

A noter que cette norme précise que l'essai de délamination réalisé avec l'épicéa couvre également le sapin et le pin sylvestre. En revanche, elle précise que pour le Douglas notamment, des essais avec cette essence doivent être menés.

Dans son annexe A, la norme décrit un essai de délamination des aboutages à entures multiples dans les lamelles qui est le même que celui décrit au paragraphe 3.1.2 du présent document.

4.2 NF EN 302

4.2.1 Généralités

Les normes de la série EN 302 donnent des méthodes d'essai pour les adhésifs pour structures portantes en bois.

4.2.2 NF EN 302-1 :2013 – Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 1 : Détermination de la résistance du joint au cisaillement en traction longitudinale

Cette norme décrit une méthode de détermination de la résistance au cisaillement des adhésifs en joint mince et en joint épais.

La résistance au cisaillement de joints de collage est déterminée par l'application d'une force de traction longitudinale sur un joint de collage à recouvrement simple, avec des joints de colle minces et épais entre deux pièces de bois collées rectangulaires en hêtre. Les joints sont chargés jusqu'à la rupture.

Les éprouvettes pour les essais de cisaillement en traction longitudinale sont en hêtre, de fil droit, ayant une masse volumique de $700 \pm 50 \text{ kg/m}^3$, à une teneur en humidité de $12 \pm 1\%$. Leurs dimensions sont les suivantes :

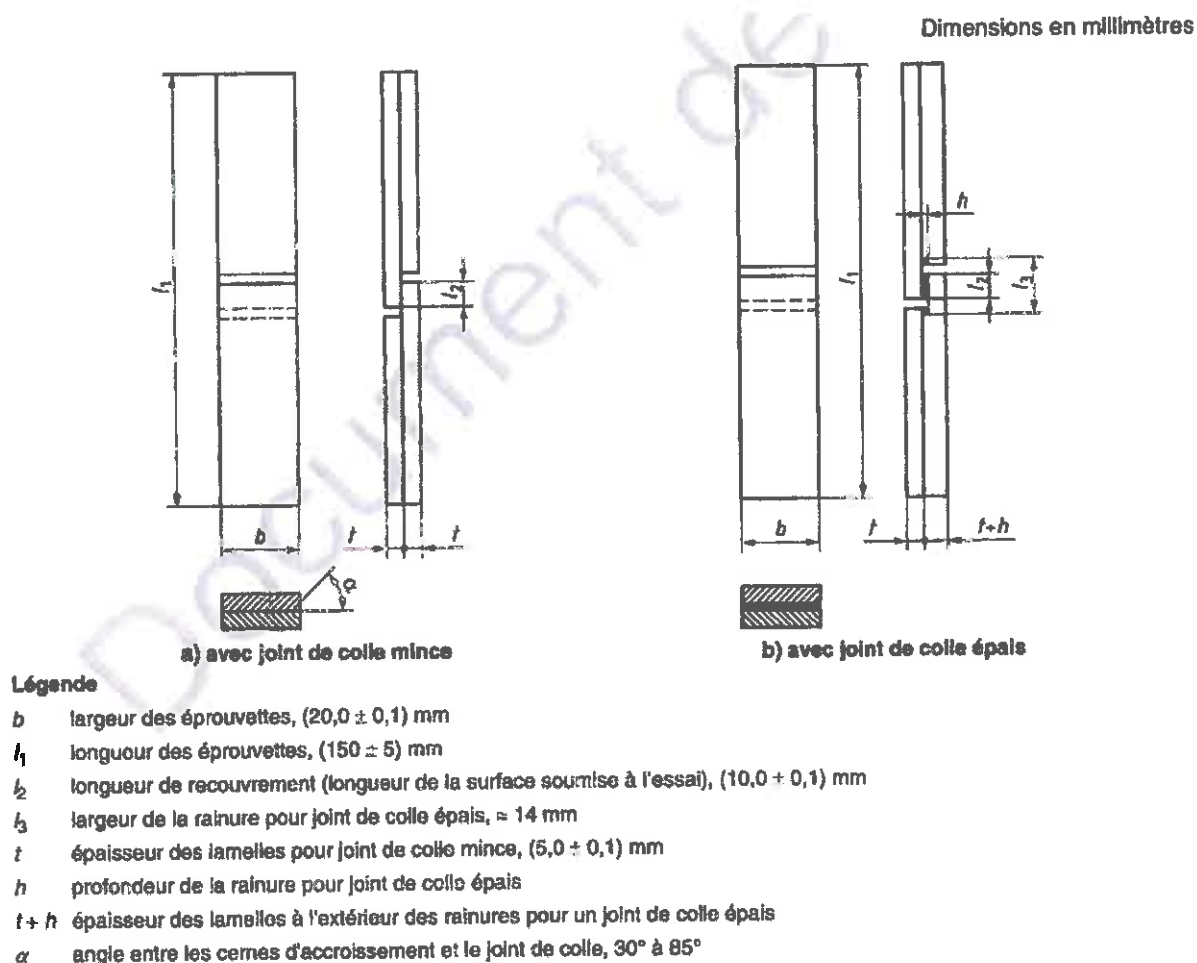


Figure 3 — Éprouvette à joint de remplissage

Pour chacun des traitements proposés par le tableau 1 ci-dessous, les essais sont arrêtés dès l'obtention de 10 résultats valables.

Tableau 1 — Type et durée du traitement avant l'essai de cisaillement en traction

Désignation	Traitement
A1	Aucun traitement excepté le conditionnement dans l'atmosphère normale [20/65] ^a
A2	4 jours d'immersion dans l'eau froide à $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ Échantillons soumis à l'essai à l'état humide
A3	4 jours d'immersion dans l'eau froide à $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ Reconditionnement en atmosphère normale [20/65] ^a à la masse d'origine ^b Échantillons soumis à l'essai à l'état sec
A4	6 h d'immersion dans l'eau bouillante 2 h d'immersion dans l'eau froide à $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ Échantillons soumis à l'essai à l'état humide
A5	6 h d'immersion dans l'eau bouillante 2 h d'immersion dans l'eau froide à $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ Reconditionnement en atmosphère normale [20/65] ^a à la masse d'origine ^b
A6	72 h à $50 ^\circ\text{C}$, enveloppés dans une feuille d'aluminium. Échantillons soumis à l'essai dans une enceinte d'essai à température régulée à $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$
A7	72 h à $70 ^\circ\text{C}$, enveloppés dans une feuille d'aluminium. Échantillons soumis à l'essai dans une enceinte d'essai à température régulée à $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$
A8	72 h à $90 ^\circ\text{C}$, enveloppés dans une feuille d'aluminium. Échantillons soumis à l'essai dans une enceinte d'essai à température régulée à $(90 \pm 2) ^\circ\text{C}$
^a L'atmosphère normale [20/65] correspond à une température de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de l'air de $(65 \pm 5) \%$. ^b Tolérance de la masse d'origine comprise entre + 2 % et - 1 %.	

Le résultat de l'essai est exprimé en tant que moyenne de la résistance au cisaillement (N/mm^2) des dix premières éprouvettes valables.

4.2.3 NF EN 302-2 : 2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 2 : Détermination de la résistance à la délamination

Cette norme décrit une méthode de détermination de la résistance à la délamination des joints de colle.

Des éprouvettes en lamellé-collé sont soumises à un mode opératoire d'imprégnation et de séchage. Les éprouvettes sont imprégnées d'eau par immersion et soumises alternativement à une pression élevée et à une pression faible (vide). Elles sont ensuite séchées rapidement à un faible taux d'humidité sous un courant d'air spécifié. L'étude de la délamination du joint de colle résultant de ces traitements est mesurée et comparée à la longueur totale du joint de colle sur chaque surface en travers du fil de l'éprouvette.

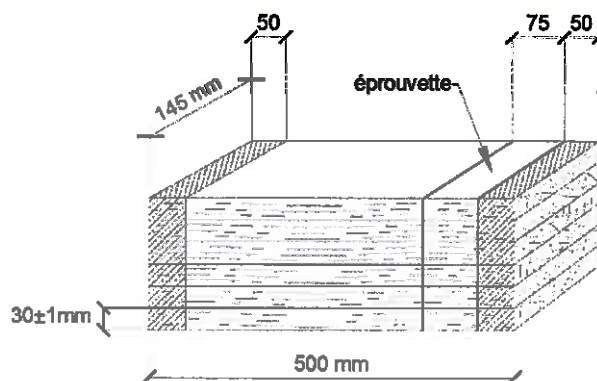
Les éprouvettes sont en épicéa de droit fil, débité sur dosse, exempt de bois de réaction, ayant une masse volumique de $450 \pm 25 \text{ kg/m}^3$, pour une teneur en eau de $12 \pm 1\%$. De la même manière que la NF EN 301, cette norme précise que l'essai de délamination réalisé avec l'épicéa couvre également le sapin et le pin sylvestre. En revanche, elle précise que pour le Douglas notamment, des essais avec cette essence doivent être menés.

Quatre éprouvettes en lamellé-collé doivent être fabriquées selon le tableau 1 ci-dessous. Deux avec une durée d'assemblages courte et deux avec une durée d'assemblage longue.

Tableau 1 — Préparation des éléments collés

Paramètres	Éléments 1 et 2	Éléments 3 et 4
Application de l'adhésif sur une seule face (possible sur les 2 faces pour les bois durs) Mélangée et/ou séparée	Pour les adhésifs de nature aminoplaste et phénolique : 250 g/m^2 Pour les autres adhésifs, comme recommandé par le fabricant de l'adhésif	Pour les adhésifs de nature aminoplaste et phénolique : 400 g/m^2 Pour les autres adhésifs, comme recommandé par le fabricant de l'adhésif
Température de l'air	$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$
Temps d'assemblage ouvert	Maximum 5 min ^c	Maximum 5 min ^c
Temps d'assemblage fermé	Minimum ^d	Maximum ^d
Pression (conifères) ^a	$(0,6 \pm 0,1) \text{ N/mm}^2$	$(0,6 \pm 0,1) \text{ N/mm}^2$
Durée de serrage ^b	Comme recommandé ^b	Comme recommandé ^b
^a Pour les essences de bois dur, le métèze, le douglas et les pins à cœur coloré, la pression doit être celle que le fabricant de l'adhésif recommande. ^b Comme recommandé par le fabricant de l'adhésif pour une température de durcissement de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. ^c Ou comme recommandé par le fabricant de l'adhésif. ^d Comme recommandé par le fabricant de l'adhésif en atmosphère normale.		

Dans une section transversale complète de chacun des quatre éléments lamellés collés à soumettre à l'essai, découper deux éprouvettes dont les dimensions sont les suivantes :



Deux cycles sont proposés, précisés par le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 — Traitements cycliques de l'essai de délamination

Traitement	Paramètres	Unités	Mode opératoire à température élevée pour les adhésifs de type I	Mode opératoire à basse température pour les adhésifs de type II
Imprégnation d'eau	Température de l'eau	°C	10 à 25	10 à 25
	Pression absolue	kPa	25 ± 5	25 ± 5
	Durée	min	15	15
	Pression absolue	kPa	600 ± 25	600 ± 25
	Durée	h	1	1
	Nombre de cycles d'imprégnation	-	2	2
Séchage	Température de l'air	°C	65 ± 3	27,5 ± 2,5
	Humidité de l'air	%	12,5 ± 2,5	30 ± 5
	Vitesse de l'air ^a	m/s	-	-
	Durée	h	(20 ± 2)	(90 ± 6)
	Nombre de cycles complets (un cycle consiste en deux traitements d'imprégnation avec de l'eau et un traitement de séchage).	-	3	2

^a Une vitesse de l'air de 2 m/s à 3 m/s dans une enceinte vide s'est révélée appropriée.

La délamination totale est ensuite exprimée en pourcentage et calculée pour chaque éprouvette.

4.2.4 NF EN 302-3 : 2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 3 : Détermination de l'influence de l'attaque acide des fibres de bois, résultant de traitements cycliques en température et humidité sur la résistance à la traction transversale

Cette norme décrit une méthode de détermination de l'influence sur la résistance à la rupture d'un joint de l'attaque des fibres de bois provoquée par l'action des acides contenus dans l'adhésif ou d'un apprêt utilisé lors du processus de collage pendant des traitements cycliques.

Les éprouvettes sont réalisées en épicéa ayant une masse volumique de $450 \pm 25 \text{ kg/m}^3$ mesurée pour une teneur en humidité de 12%. Leurs dimensions sont les suivantes :

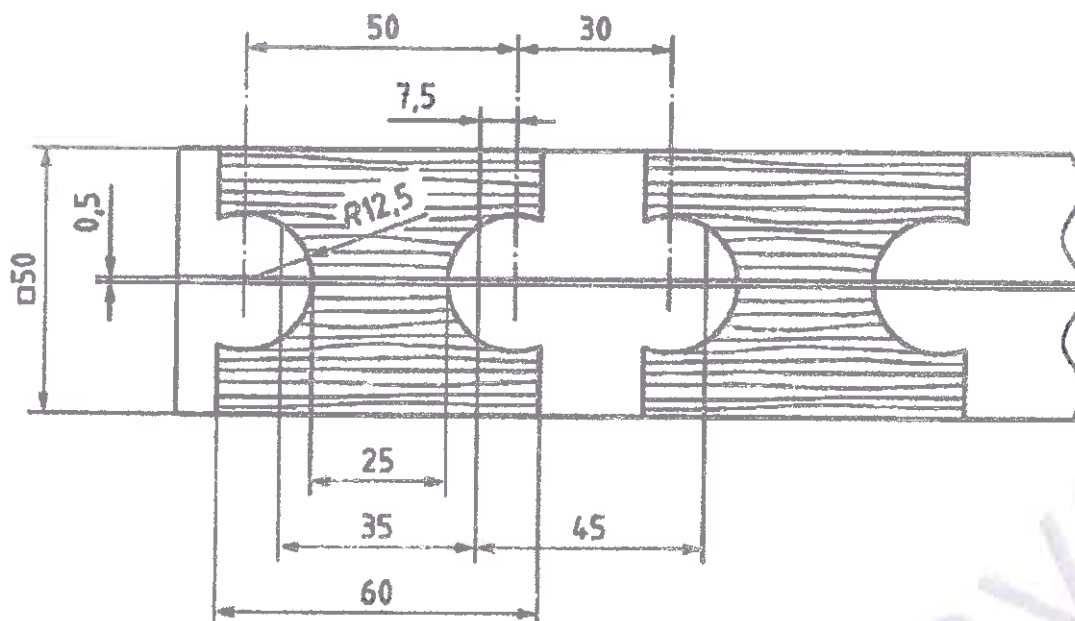


Figure 2 — Éprouvettes de traction prélevées sur l'assemblage de bois collé

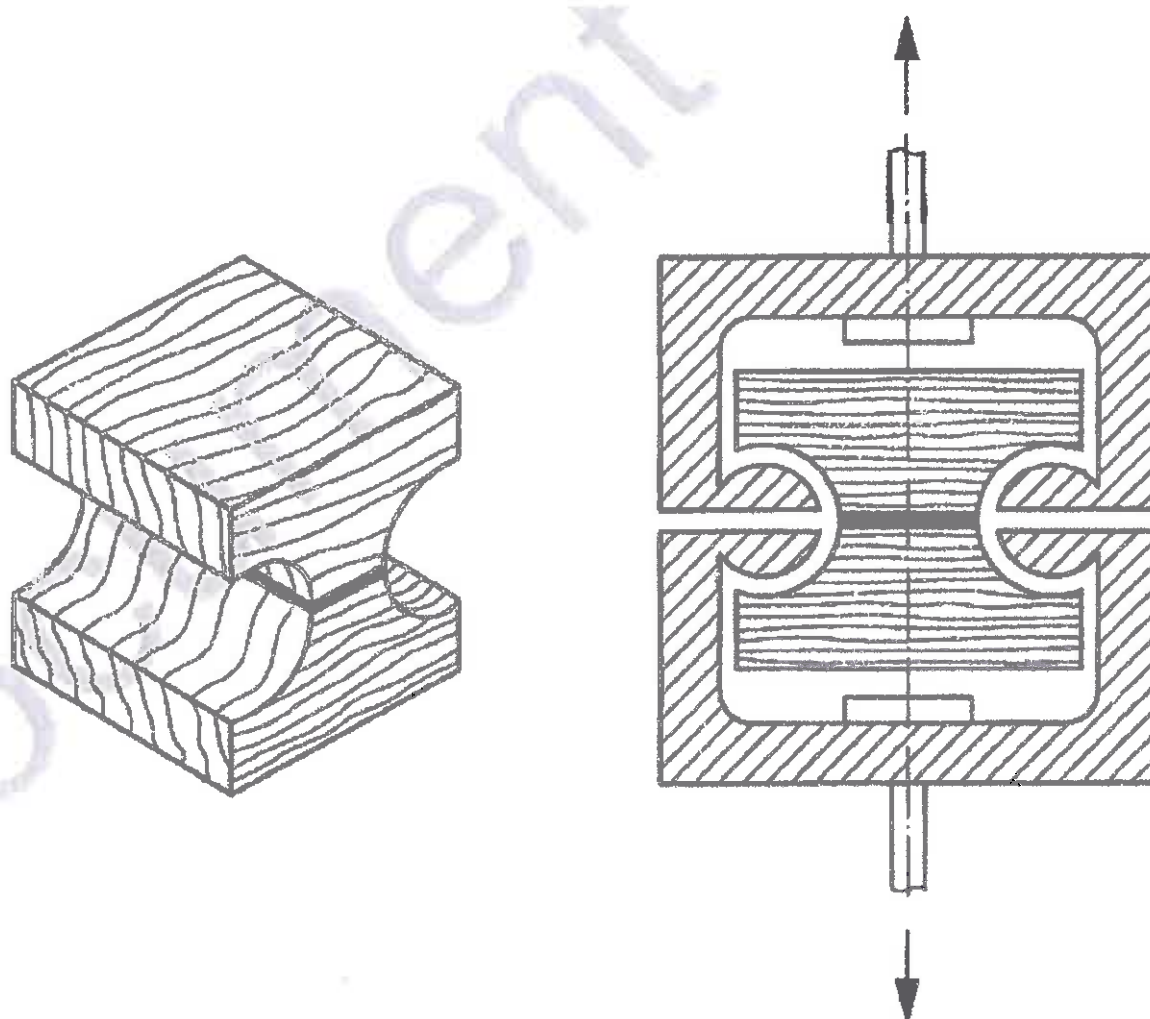


Figure 1 — Éprouvette et mors pour évaluer la résistance à la traction transversale des assemblages en bois collés

Il faut soumettre à l'essai un nombre suffisant d'éprouvettes dans la limite de dix pour obtenir huit résultats valables pour le traitement cyclique et huit résultats valables pour le contrôle.

Au moins huit éprouvettes sont stockées en atmosphère normale (20/65) jusqu'à l'essai. Il faut sélectionner au moins huit éprouvettes pour le traitement cyclique qui se compose de quatre cycles, chacun d'eux étant divisé en trois traitements selon le tableau 1 ci-après :

Tableau 1 — Conditions de stockage cycliques et climatiques

Traitement	Durée h	Température °C	Humidité relative %
A	24	50 ± 2	$87,5 \pm 2,5$
B	8	10 ± 2	$87,5 \pm 2,5$
C	16	50 ± 2	≤ 20

Après essai de traction perpendiculaire, le résultat de l'essai est exprimé en tant que résistance à la traction transversale moyenne (arithmétique) des huit essais valables. Pour chaque éprouvette, les modes de rupture doivent être consignés (rupture du bois solide, rupture le long du joint de colle avec une fine couverture de fibres visible dans la zone de rupture, rupture dans ou le long du joint de colle sans une fine couverture de fibres visible dans la zone de rupture).

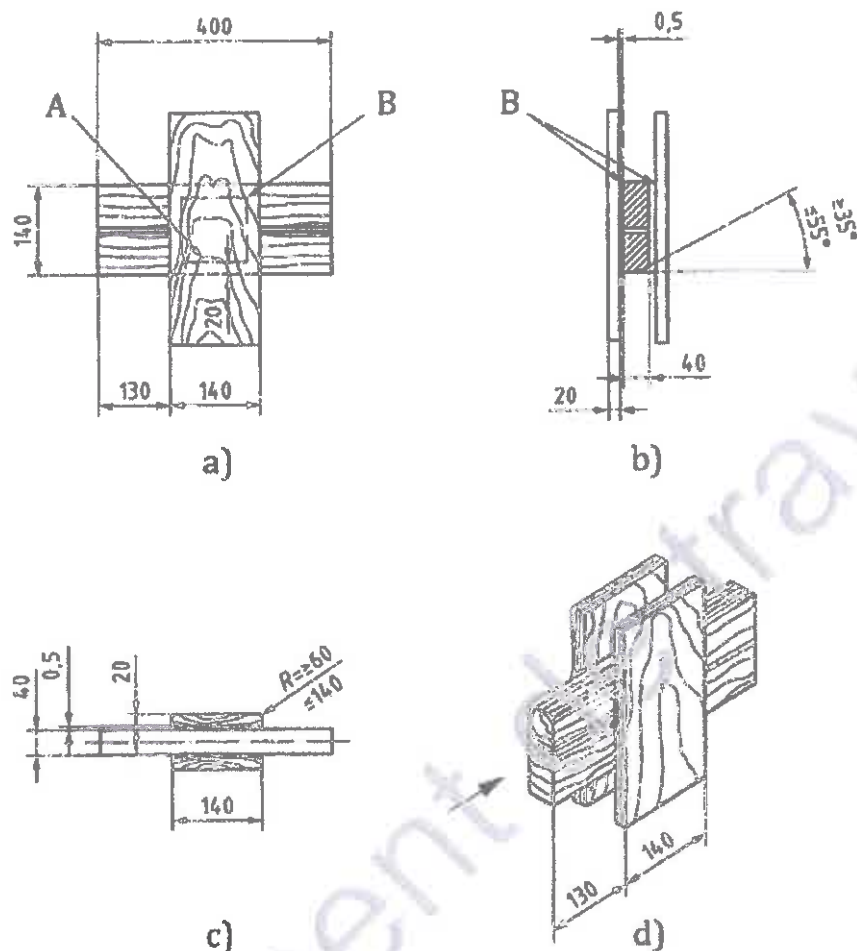
4.2.5 NF EN 302-4 :2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 4 : Détermination de l'influence du retrait du bois sur la résistance au cisaillement

Cette norme décrit une méthode permettant de déterminer l'effet du retrait du bois dans des conditions de séchage sur la résistance au cisaillement de collages croisés.

Un assemblage à double recouvrement croisé avec un joint de colle d'épaisseur 0,5mm est soumis à un traitement par conditionnement à sec, puis est sollicité jusqu'à la rupture

Les éprouvettes (âme et éléments de recouvrement) sont en épicéa de masse volumique moyenne de 450+/-25 kg/m³ mesurée pour une teneur en humidité de 12%. Elles sont préparées au nombre de trois. Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

Dimensions en millimètres



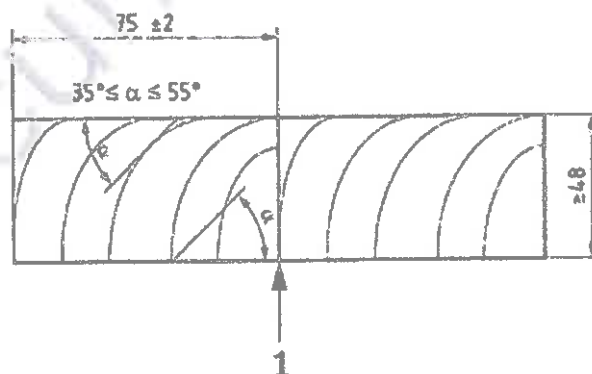
Légende

- A plan de collage (100 ± 0,1) mm × (100 ± 0,1) mm
- B cadres en aluminium
- ∠ angle des cerne d'accroissement annuels
- direction du flux d'air dans l'enceinte climatique

Figure 2 — Assemblages collés croisés

Les dimensions des âmes avant rabotage et collage des éléments des recouvrements sont les suivantes :

Dimensions en millimètres



Légende

- 1 Joint de colle phénol-résorcinol-formaldéhyde (PRF)
- α angle d'orientation des cernes annuels par rapport à la surface

Figure 1 — Section transversale de l'âme d'épicéa lamellée collée avant rabotage et découpe aux dimensions requises de 140 mm de largeur sur $(40,0 \pm 0,5)$ mm d'épaisseur

Les dimensions des cadres aluminium ayant pour vocation à garantir une épaisseur du joint de colle de 0,5mm sont les suivantes :

Dimensions en millimètres

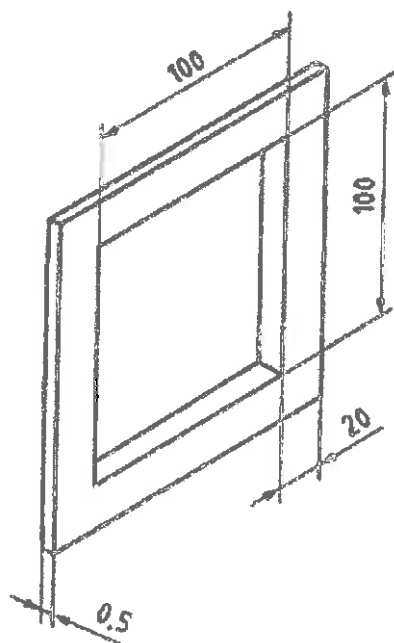
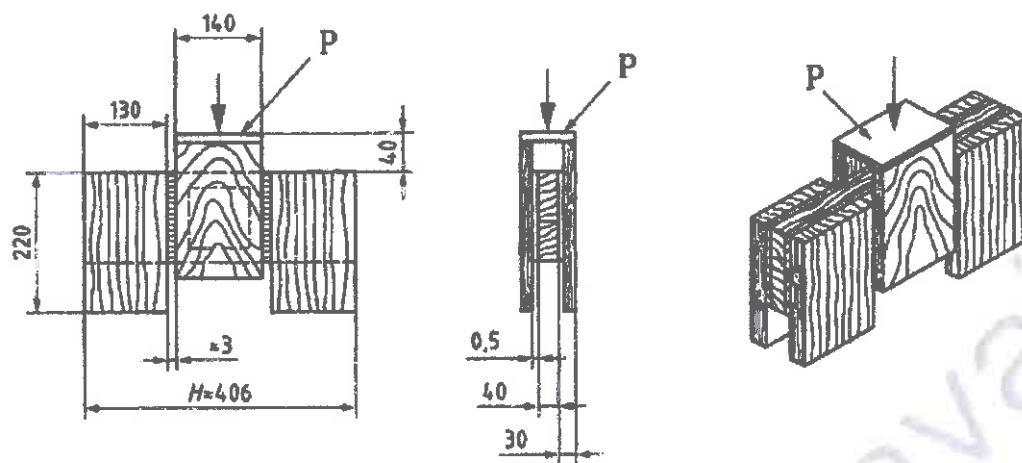


Figure 3 — Cadre d'espacement en aluminium

Après avoir été traitées par conditionnement à sec, les éprouvettes sont préparées de la façon suivante :

Dimensions en millimètres



Légende

p plaque d'essai

Figure 4 — Conception des éprouvettes

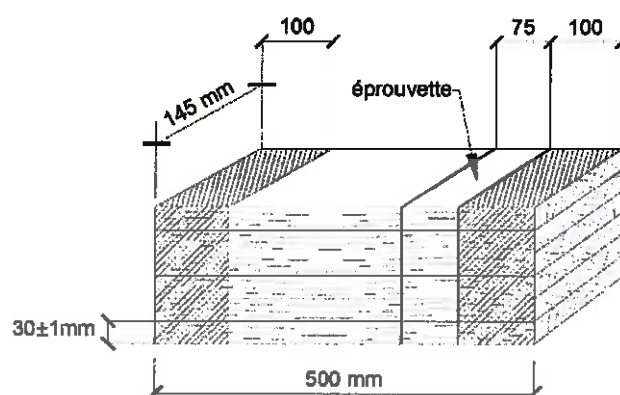
Après un conditionnement en enceinte climatique à (20/65), des essais de compression sont réalisés. Le résultat de l'essai est exprimé comme étant la moyenne de la résistance au cisaillement, en N/mm^2 , des trois éprouvettes.

4.2.6 NF EN 302-5 :2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 5 : – Détermination du temps d'assemblage maximal dans des conditions de référence

Cette norme spécifie une méthode de laboratoire permettant de déterminer le temps d'assemblage maximal pour deux niveaux de grammage en atmosphère normale (20/65).

Des éprouvettes de délamination conformes à l'EN 302-2 sont produites avec différents temps d'assemblage pour chaque joint de colle individuel en utilisant des pièces d'écartement de 5mm dans les coins. Un essai de délamination est effectué pour évaluer le temps d'assemblage maximal auquel la valeur la plus élevée de délamination admise est dépassée.

Les éprouvettes sont en épicéa de droit fil, débité sur dosse, ayant une masse volumique de $450 \pm 25 \text{ kg/m}^3$ à une teneur en eau de 12%. Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :



Le temps d'assemblage est déterminé pour deux niveaux de grammage d'adhésif : 250 g/m^2 et 400 g/m^2 . Pour chaque niveau de grammage, confectionner un élément lamellé de six lamelles présentant cinq joints de colle avec un temps d'assemblage différent pour chaque joint de colle.

Si le temps d'assemblage estimé est de 30min, observer des intervalles de 5min entre les joints de colle, 10min pour un temps d'assemblage de 30min à 60min, et 15min pour un temps d'assemblage supérieur ou égal à 60min.

Des essais préliminaires sont réalisés dans un premier temps. Ils consistent en des essais de délamination tels que décrits dans EN 302-2. Pour chaque élément lamellé-collé, trois éprouvettes sont testées.

Si le premier essai préliminaire ne donne pas une idée claire du temps d'assemblage maximal, tous les joints de colle satisfont à l'exigence (délamination inférieure à 4%). Si aucun des joints de colle ne satisfait à l'exigence ou si les intervalles de temps pour le temps d'assemblage entre les joints de colle est trop long ou trop court, procéder alors à un second essai préliminaire avec des durées plus appropriées.

Lorsqu'on peut conclure que le résultat de l'essai préliminaire de trois éprouvettes indique le temps d'assemblage maximal, procéder alors à l'essai final.

Pour cet essai final, deux éléments en lamellé-collé sont préparés de la même manière que précédemment pour chaque niveau de grammage. Ils sont collés avec le même temps d'assemblage pour tous les joints de colle tel que déterminé à partir du résultat de l'essai préliminaire. Un essai de délamination est ensuite réalisé conformément à EN 302-2 sur deux éprouvettes pour chaque élément en lamellé-collé.

La délamination totale est ensuite exprimée en pourcentage et calculée pour chaque éprouvette.

Les exigences sont les suivantes :

- Essai préliminaire : pour le joint de colle qui présente le temps d'assemblage le plus long et dont deux éprouvettes sur trois répondent aux critères, l'exigence de délamination de 4% indique le temps d'assemblage maximal. Effectuer l'essai final en utilisant ce temps d'assemblage maximal.
- Essai final : toutes les éprouvettes issues de l'essai final doivent satisfaire aux exigences données dans l'EN 301 concernant la délamination maximale. Le plus long temps d'assemblage utilisé en vue de satisfaire à ces exigences correspond dans les conditions de référence au temps maximal d'assemblage.

4.2.7 NF EN 302-6 : 2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 6 : Détermination du temps de serrage minimum dans des conditions de référence

Cette norme décrit une méthode permettant de déterminer le temps de serrage minimum pour deux épaisseurs de joint de colle, joint de colle mince et joint de colle épais de 0,3mm (1,0 mm pour un adhésif de remplissage d'intervalles), à trois températures.

Les joints à recouvrement normalisés en hêtre sont soumis à l'épreuve de cisaillement en traction, à la suite de différents temps de polymérisation, jusqu'à ce que la résistance atteigne la valeur de 4 N/mm². Les essais sont réalisés conformément à l'EN 302-1 :2013.

4.2.8 NF EN 302-7 :2013 - Adhésifs pour structures portantes en bois – Méthodes d'essai – Partie 7 : Détermination de la durée d'utilisation dans des conditions de référence

Cette norme spécifie une méthode permettant de déterminer, à partir d'un essai de viscosité (viscosimètre Brookfield), la durée d'utilisation des adhésifs mélangés à un durcisseur pour structures portantes en bois dans des conditions de référence.

4.3 NF EN 408 + A1 :2012 – Structures en bois – Bois de structure et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques

Cette norme définit des méthodes d'essai pour déterminer les propriétés suivantes du bois de structure et du bois lamellé-collé : le module d'élasticité en flexion, le module de cisaillement, la résistance à la flexion, le module d'élasticité en traction axiale, la résistance à la traction axiale, le module d'élasticité en compression axiale, la résistance à la compression axiale, le module d'élasticité en traction transversale, la résistance à la traction transversale, le module d'élasticité en compression transversale, la résistance à la compression transversale et la résistance au cisaillement.

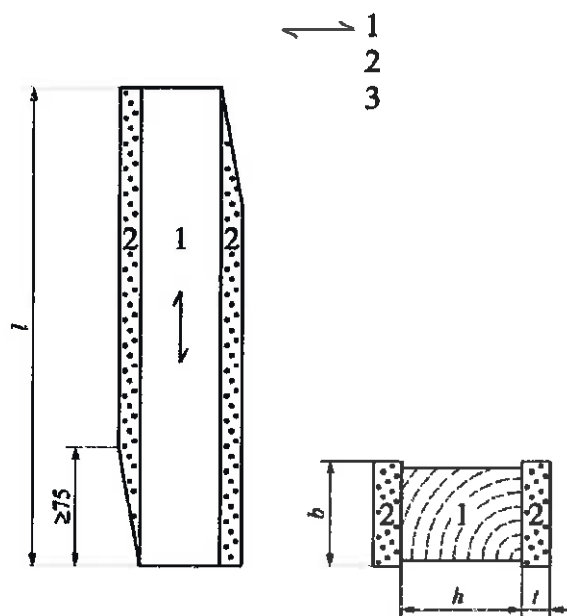
La détermination des dimensions, de la teneur en humidité et de la masse volumique des éprouvettes d'essai est également définie.

Sauf indication contraire, les méthodes s'appliquent aux bois massifs non aboutés ou aboutés par entures multiples et aux bois lamellé-collé, de formes rectangulaire et circulaire (de section relativement constante).

4.3.1 Détermination de la résistance au cisaillement axial

L'éprouvette d'essai doit être collée sur les plaques d'acier. Les plaques d'acier doivent être biseautées, comme représenté à la figure 15.

Dimensions en millimètres



Légende

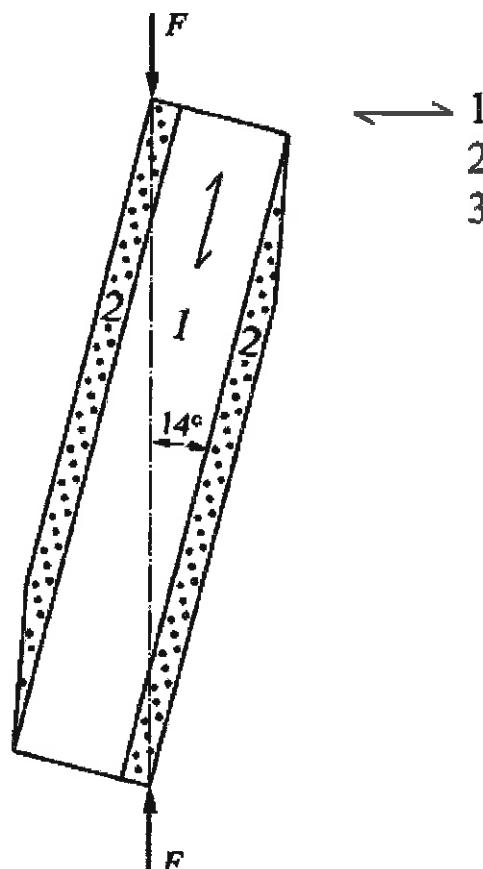
- 1 Sens du fil
- 2 Plaque d'acier
- 3 Éprouvette d'essai en bois

Figure 15 — Éprouvette d'essai en bois représentée collée aux plaques d'acier

Les dimensions sont les suivantes :

- $l = 300 \pm 2 \text{ mm}$
- $b = 32 \pm 1 \text{ mm}$
- $h = 55 \pm 1 \text{ mm}$
- l'épaisseur des plaques d'acier doit être de $10 \pm 1 \text{ mm}$.

L'éprouvette d'essai doit être installée dans une machine d'essai tel que représentée à la figure 16. L'éprouvette doit être positionnée de façon à ce qu'un contact continu soit maintenu là où les forces F sont appliquées. L'angle entre la direction de la force et l'axe longitudinal de l'éprouvette doit être de 14° .



Légende

- 1 Sens du fil
- 2 Plaque d'acier
- 2 Éprouvette d'essai en bois

Figure 16 — Dispositif de chargement

La résistance au cisaillement f_v doit être déterminée à partir de l'équation :

$$f_v = \frac{F_{\max} \cos 14^\circ}{(b)}$$

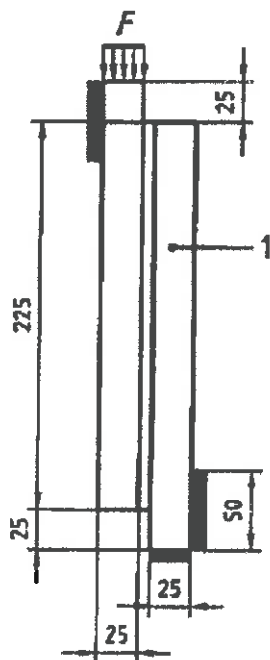
4.4 NF EN 789 : 2005 – Structures en bois – Méthodes d'essai – Détermination des propriétés mécaniques des panneaux à base de bois

Cette Norme européenne prescrit des méthodes d'essais pour la détermination de certaines propriétés mécaniques de panneaux à base de bois commercialisés pour être utilisés dans des structures portantes en bois. Ces propriétés sont destinées au calcul des valeurs caractéristiques afin d'être utilisées dans la conception.

4.4.1 Propriété de cisaillement roulant

La charge doit être appliquée à une extrémité d'une des plaques d'acier, parallèlement au sens de la longueur de l'éprouvette. Un dispositif d'essai est nécessaire pour maintenir l'éprouvette dans une position convenable durant les essais. Le principe de chargement est indiqué sur la Figure 7a et un exemple d'appareillage d'essai dans la Figure 7b. Les supports de roulettes peuvent être remplacés par un matériau à faible frottement.

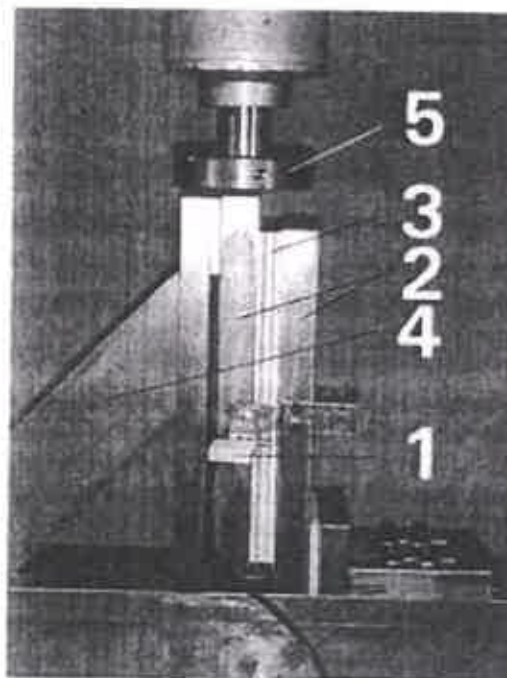
Dimensions en millimètres



Légende

1 Acier

Figure 7a — Dispositif de chargement pour le cisaillement roulant



Légende

- 1 Calibre pour la mesure de la déformation
- 2 Plaques d'acier
- 3 Éprouvette
- 4 Dispositif d'essai pour mesurer la déformation
- 5 Machine d'essai — plaque de compression et cellule de charge

Figure 7b — Exemple de dispositif de cisaillement roulant

Les dimensions de l'éprouvette doivent être calculées selon EN 325 et doivent être conformes aux exigences données en Annexe C, notamment :

- L'éprouvette doit être de section rectangulaire et son épaisseur égale à celle du panneau. La largeur de l'éprouvette doit être égale à (100 ± 1) mm et sa longueur à (225 ± 1) mm.
- L'éprouvette doit être fixée entre deux plaques d'acier, de section rectangulaire de 25 mm d'épaisseur, 250 mm de longueur et ayant une largeur minimum de 100 mm. Les plaques en acier doivent être fixées à l'éprouvette avec une colle telle que le fluage n'intervienne pas de façon significative dans la déformation mesurée. Une des extrémités de la plaque d'acier doit avoir une arrête en biseau dépassant de 25 mm l'extrémité de l'éprouvette comme représenté en Figure 7a. Un gabarit doit être utilisé lors du collage pour s'assurer que les arrêtes des -plaques restent parallèles.

La résistance au cisaillement roulant doit être calculée selon la formule suivante :

$$f_r = \frac{F_{\max}}{lb}$$

Où :

F_{\max} est la charge maximale obtenue pendant l'essai ;

b est la largeur de l'éprouvette d'essai ;

l est la longueur de l'éprouvette d'essai.

4.5 NF EN 15416

4.5.1 Généralités

Les trois normes ci-dessous précisent que les essais qui y sont décrits sont principalement destinés à recueillir des données de performance pour classer les adhésifs destinés aux structures portantes en bois en fonction de leur aptitude à l'utilisation dans des environnements climatiques définis.

Ces méthodes ne sont pas destinées à fournir des données pour la conception structurelle et elles ne reflètent pas nécessairement la performance de l'élément collé en service.

4.5.2 NF EN 15416-1 : 2017 – Adhésifs pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essais – Partie 1 : essai de charge soutenue à long terme dans des conditions cycliques avec des éprouvettes chargées perpendiculairement au joint de colle (essai de serre)

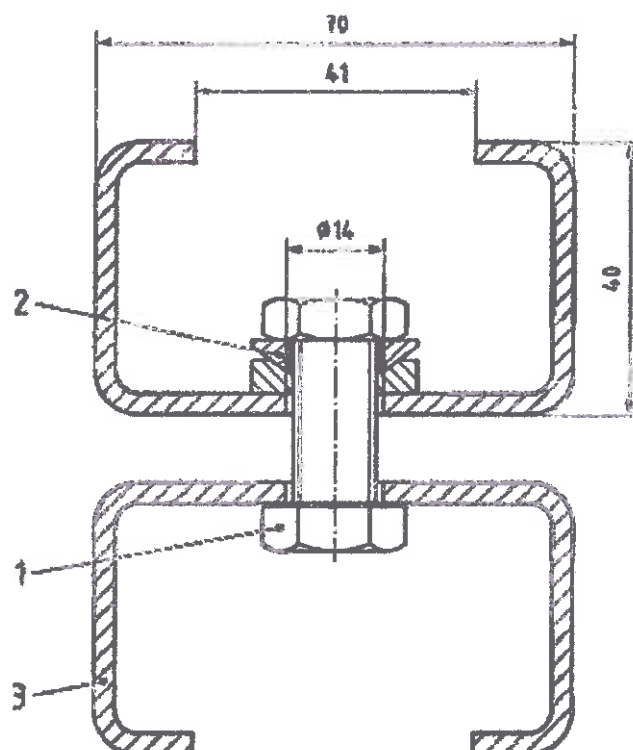
Cette norme européenne spécifie une méthode de détermination de la capacité des joints adhésifs à résister à une charge soutenue à long terme appliquée à la verticale des joints de colle. Elle s'applique aux adhésifs utilisés dans des structures portantes en bois.

Les éprouvettes collées sont soumises à une charge soutenue à long terme appliquée à la verticale des joints de colle dans des conditions climatiques cycliques. Le climat d'essai correspond à des conditions d'exposition naturelle extérieures en Europe, entre 45° et 60° de latitude. Les échantillons chargés sont sous abri avec une protection perméable à la lumière (« serre »).

Les dix échantillons constituant un jeu d'essai pour chacune des trois durées de charge doivent être placés dans un banc d'essai approprié et soumis à une charge de traction transversale conformément au paragraphe 5.5.1 de la norme. Les bancs d'essai doivent permettre une mise en charge régulière des éprouvettes. Les échantillons individuels doivent être libres de tourner pour s'assurer que la charge est appliquée à 90° des joints de colle.

NOTE : L'utilisation de bancs d'essai avec une charge statique suspendue pour l'application de la charge, combinée à un chargement vertical des éprouvettes selon le principe illustré à la **Figure 1** et à la **Figure 2**, s'est révélée être une méthode convenable.

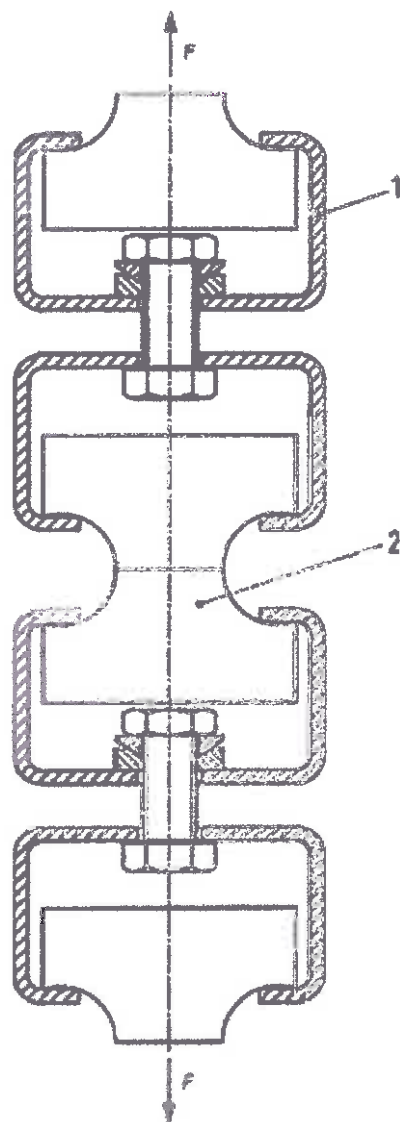
Dimensions en millimètres



Légende

- 1 vis M12x30
- 2 rondelles sphériques, à portée conique (DIN 6319)
- 3 dispositif de connexion de 70 mm × 40 mm ; longueur de 50 mm

Figure 1 — Exemple de dispositif de connexion entre deux éprouvettes



Légende

- 1 dispositif de connexion
- 2 éprouvette chargée
- F charge

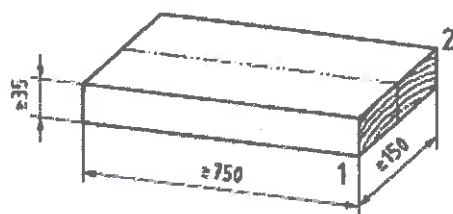
Figure 2 — Éprouvette montée dans le dispositif de connexion

Les éprouvettes doivent être confectionnées conformément à l'EN 302-3, mais elles doivent être en bois de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) non traité avec un joint de colle mince et de 0,5 mm d'épaisseur pour les domaines d'application « Usage spécial » et « Usage général » et avec un joint de colle mince pour le domaine d'application « Aboutage à entures multiples ».

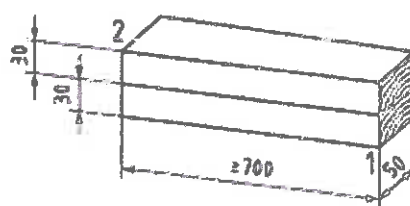
Les planches en bois de hêtre dans lesquelles les éprouvettes sont découpées doivent être exemptes de nœuds, doivent être de fil droit et doivent avoir une masse volumique de (700 ± 50) kg/m³ à 12 % d'humidité. Le bois d'œuvre avant la fabrication de l'éprouvette doit être conditionné dans une chambre climatique dans des conditions de stockage de (20 ± 2) °C et de (65 ± 5) % d'humidité relative (ci-après climat [20/65]). La teneur en humidité doit être de (12 ± 1) %.

Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

Dimensions en millimètres



a) Dimensions avant la découpe et le rabotage



b) Dimensions finales après le collage et le rabotage

Légende

1 et 2 position des barreaux pendant la préparation de l'éprouvette

Figure 3 — Plan de découpe des composants des barreaux d'essai

L'orientation des cernes annuels des deux composants collés ensemble doit être approximativement colinéaire et avec un angle des cernes d'accroissement de l'ordre de 30° à 60° .

Dimensions en millimètres

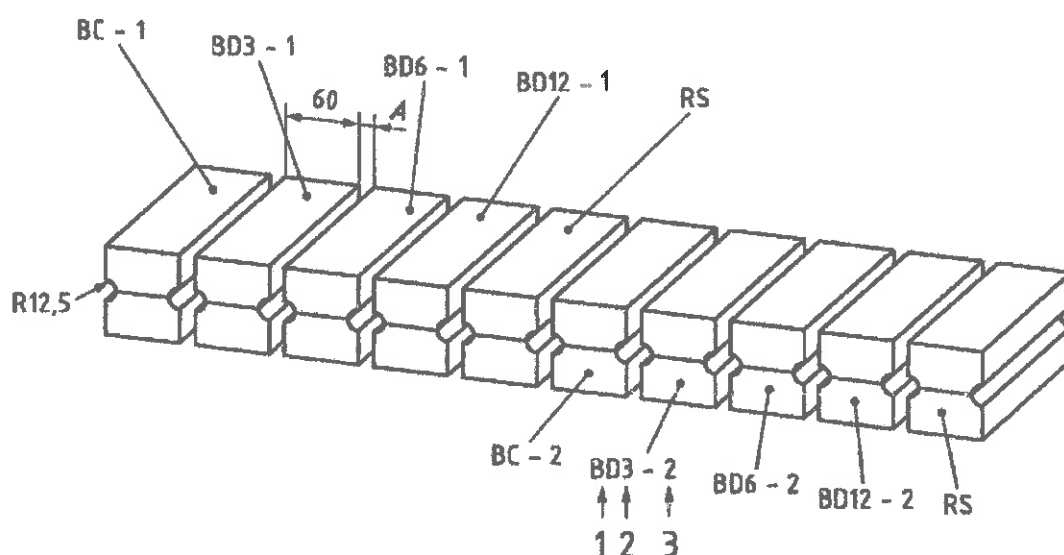


Figure 5 — Plan de découpe d'un barreau d'essai et numérotation des éprouvettes

Le mode opératoire d'essai doit être composé des séries d'essai suivantes :

- a. essai à court terme d'un lot de référence BC de 10 éprouvettes avec mise en charge progressive. Les éprouvettes sont soumises à l'essai après 14 jours de conditionnement sous un climat [20/65] après le collage ;
- b. essai à long terme de trois lots (BD3, BD6 et BD12) de 10 éprouvettes chacun. Chaque lot doit être soumis à une durée de chargement différente de 3 mois (BD3), 6 mois (BD6) et 12 mois (BD12). Tous les lots doivent être soumis au même niveau de contrainte constant que celui spécifié ci-dessous. À la fin de chaque période de charge, toutes les éprouvettes du lot respectif qui n'ont pas échoué doivent être déchargées, reconditionnées sous un climat [20/65] et soumises à l'essai de résistance à la traction résiduelle perpendiculaire au joint de colle avec mise en charge progressive.

La charge appliquée doit être de $(1\,250 \pm 10)$ N, ce qui conduit à un niveau de contrainte constant de $1,0 \text{ N/mm}^2$ pour la durée des essais de charge. La charge est donnée pour une section nette de $25 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$.

Vérifier au moins une fois par semaine que les éprouvettes ne se sont pas effondrées. En cas de rupture, les éprouvettes restantes doivent être rechargées dès que possible. Si plusieurs ruptures se produisent, empêcher tout endommagement des éprouvettes restantes en utilisant des dispositifs appropriés.

Le climat pour la durée des essais de charge doit correspondre à des conditions d'exposition naturelle extérieures en Europe, entre 45° et 60° de latitude, avec des échantillons et bancs d'essai sous abri avec une protection perméable à la lumière.

Un autre mode opératoire d'essai consiste à utiliser une chambre climatique avec un climat évoluant cycliquement, par paliers d'une durée de 24 h, entre un climat à $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(90 \pm 5)\%$ d'humidité relative et un climat à $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(40 \pm 5)\%$ d'humidité relative.

Calculer la résistance à la traction transversale de chaque éprouvette soumise à l'essai à l'aide de la formule suivante :

$$f_{1,90,\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

où

- $f_{1,90,\max}$ est la résistance à la traction transversale, en Newtons par millimètre carré (N/mm^2) ;
- F_{\max} est la charge à la rupture, en Newtons (N) ;
- A est la surface, en millimètres carrés ($1\,250 \text{ mm}^2$).

Exprimer les résultats pour chaque série BC, BD3, BD6 et BD12, comme étant la résistance moyenne à la traction transversale (moyenne arithmétique).

La résistance moyenne à la traction perpendiculaire au fil pour le lot de référence BC et chacun des lots BD3, BD6 et BD12 soumis à l'essai de résistance à la traction résiduelle après 3 mois, 6 mois et 12 mois de charge ne doit pas être inférieure à 5 N/mm².

Dans chaque lot BD3, BD6 ou BD12, seule une éprouvette peut échouer pour chacune des périodes de charge respectives. Dans ce cas, la valeur moyenne de la résistance à la traction résiduelle du lot respectif doit être calculée à partir des neuf éprouvettes restantes.

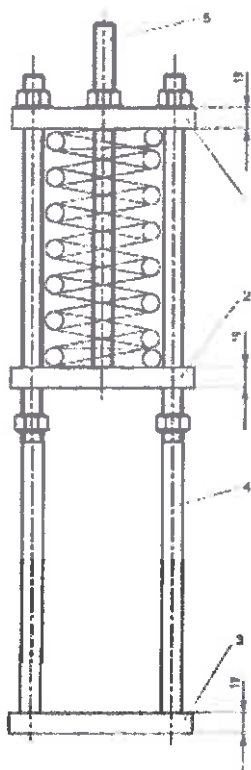
4.5.3 NF EN 15416-2 : 2008 – Adhésifs pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essais – Partie 2 : essai de charge statique des éprouvettes à plan de joint multiple en cisaillement par compression.

Cette norme spécifie une méthode permettant de déterminer l'aptitude des joints adhésifs à résister à une charge statique. Elle s'applique aux adhésifs utilisés dans les structures portantes de charpente en bois.

Les spécimens d'essais collés sont soumis à une charge constante de cisaillement par compression dans une série de trois environnements climatiques différents. Le nombre de ruptures et le niveau de déformation sont mesurés une fois que les éprouvettes ont subi tous les cycles climatiques.

L'équipement d'essai est en principe similaire à celui décrit dans l'ASTM D 3535-07a, à l'exception des caractéristiques des ressorts (Figure 1 et Figure 2).

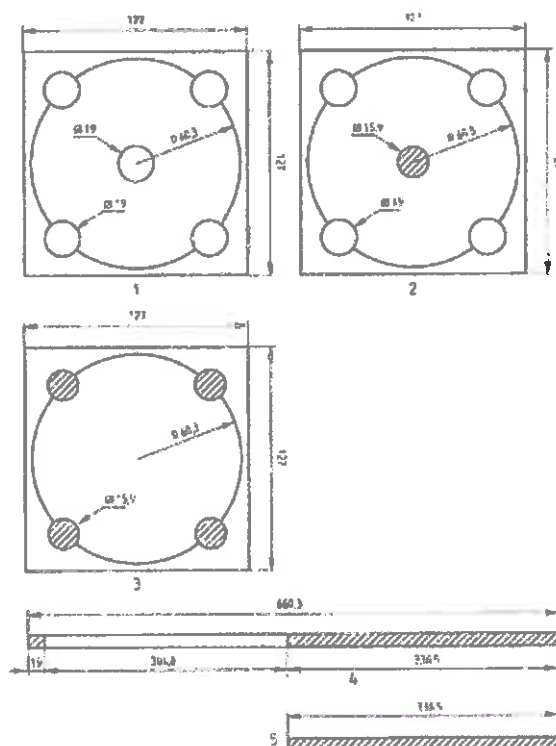
Dimensions en millimètres



Légende

- 1 Plaque supérieure
- 2 Plaque d'espacement
- 3 Plaque de base
- 4 Tige de tension x 4, diamètre 15,9 mm
- 5 Tige centrale x 1, diamètre 15,9 mm

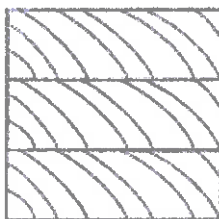
Figure 1 — Dispositif de serrage d'essai


Légende

- 1 Plaque supérieure
- 2 Plaque d'espacement
- 3 Plaque de base
- 4 Tige de tension $\times 4$, diamètre 15,9 mm
- 5 Tige centrale $\times 1$, diamètre 15,9 mm

Figure 2 — Dimension des plaques et baguettes

Du hêtre non traité (*Fagus sylvatica* L.) ayant une masse volumique de (700 ± 50) kg/m³ pour une teneur en humidité de (12 ± 1) % doit être utilisé. Il doit s'agir d'un bois de droit fil et dépourvu de nœuds. Il convient que l'angle entre les cernes annuels de croissance du bois et la surface à coller soit compris entre 30° et 60°. Il convient que les pièces constituant l'éprouvette présentent une même orientation des cernes annuels dans la section transversale (Figure 3).


Figure 3 — Orientation des cernes annuels dans la section transversale de la stratification

Conditionner le bois à (20 ± 2) °C avec une humidité relative de (65 ± 5) % jusqu'à obtention d'une teneur en humidité égale à (12 ± 1) %.

Trois éléments de bois lamellés doivent être préparés afin de produire six éprouvettes d'essai. Les éléments lamellés doivent être préparés à partir de planches de $(16,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur (après rabotage) par $(60,0 \pm 0,1)$ mm de large et de $(305,0 \pm 0,1)$ mm de long dans le sens du fil. Chaque élément lamellé doit être constitué de deux lamelles externes aux dimensions précédemment mentionnées et d'une alternance de plaques d'espacement et de sections en bois pour la partie intérieure. Les sections de bois doivent être coupées dans une planche identique aux deux autres. Elles doivent présenter les dimensions suivantes : $(28,5 \pm 0,1)$ mm de long dans le sens du fil, $(16,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur et $(60,0 \pm 0,1)$ mm de large, voir la figure 4.

Les plaques d'espacement doivent être fabriquées dans un matériau approprié, permettant de les retirer sans destruction de l'éprouvette ni modification du positionnement des pièces centrales. Dimensions des plaques d'espacement : longueur $(6,4 \pm 0,1)$ mm, épaisseur légèrement inférieure à celle des pièces de la section centrale, largeur de $(60,0 \pm 0,1)$ mm. Le PTFE s'est révélé un matériau approprié pour les pièces d'espacement.

Dimensions en millimètres

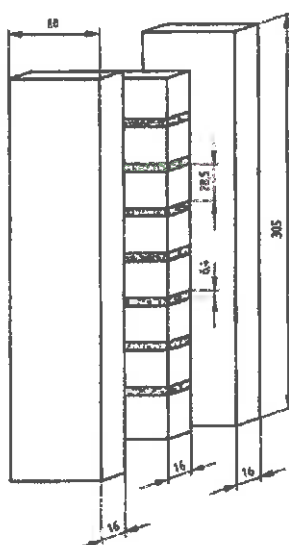


Figure 4 — Bloc d'essai avant collage

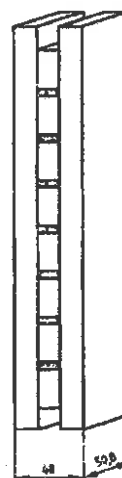


Figure 5 — Bloc d'essai après rabotage

La partie centrale de l'ensemble doit être constituée de 7 plaques d'espacement et de 8 sections de bois alternées et serrées les unes contre les autres, voir la figure 4.

Il convient que les sections de bois soient légèrement plus épaisses que les plaques d'espacement afin d'obtenir une pression adéquate sur les plans de joint. Le collage doit être réalisé suivant les recommandations du fournisseur. Serrer avec précaution la section centrale dans le sens de la longueur afin de garantir qu'aucun mouvement ne se produise lors du pressage de l'ensemble du spécimen (figure 4). Il a été démontré que le fait de placer un ruban de 13 mm autour des 15 pièces permettait de les maintenir ensemble lors de l'assemblage des lamellations.

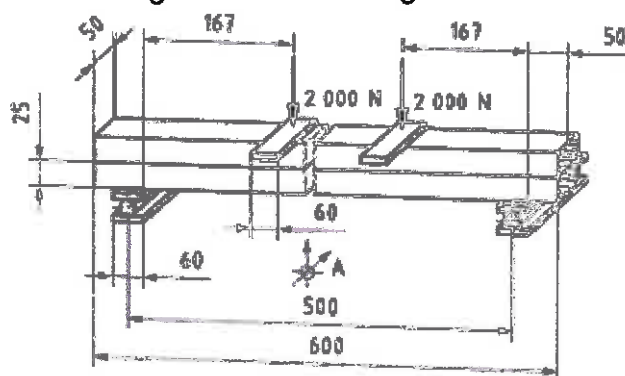
Les lamelles extérieures doivent ensuite être positionnées de façon à dépasser d'environ 13 mm à chaque extrémité, l'intégralité de l'assemblage doit être serré avec précaution et la polymérisation de l'adhésif doit être réalisée conformément aux recommandations qui lui sont applicables. Le positionnement des pièces centrales doit être garanti. Les plaques d'espacement doivent être enlevées et tout excédent d'adhésif doit être retiré aussi rapidement que possible sans déplacer les pièces centrales. Le retrait des pièces d'espacement doit s'effectuer par un léger mouvement de poussée, sans à-coup.

4.5.4 NF EN 15416-3 : 2017 – Adhésifs pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essai – Partie 3 : essai de déformation par fluage dans des conditions climatiques cycliques avec des éprouvettes chargées en cisaillement par flexion

Cette norme spécifie une méthode permettant de déterminer la déformation par fluage d'éprouvettes collées chargées en cisaillement par flexion. Elle s'applique aux adhésifs utilisés dans des structures portantes en bois.

Des éprouvettes de flexion de section constante sont soumises à une charge constante dans des conditions climatiques cycliques. Les éprouvettes collées avec l'adhésif soumis à l'essai sont comparées avec des éprouvettes collées avec un adhésif RPF conforme aux exigences pour les adhésifs de type GP-I-M selon l'EN 301.

Un banc d'essai permettant d'appliquer une charge de $(2\,000 \pm 50)$ N en chaque point de charge. Le principe de mise en charge est illustré à la figure 1.



Dimensions en millimètres

Légende

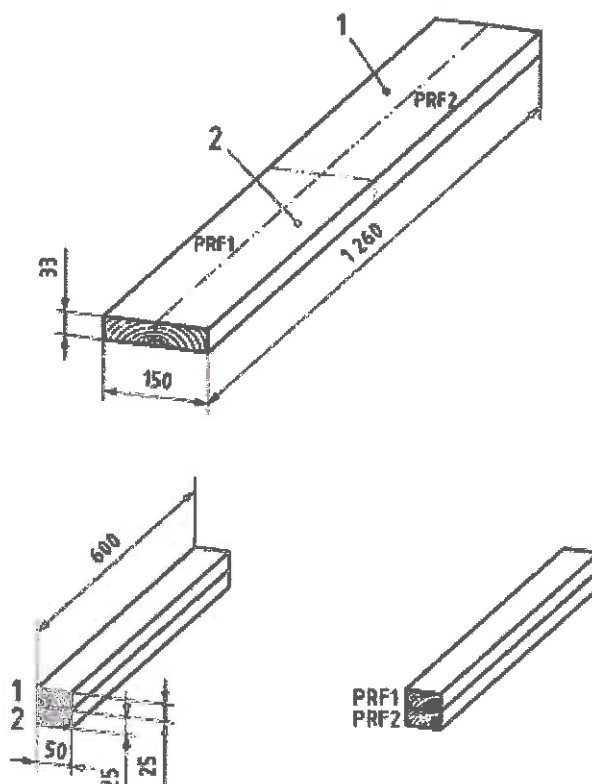
A jauge de mesure de la flèche de l'éprouvette

Figure 1— Principe de mise en charge pour l'essai de déformation par fluage

Cinq planches d'épicéa de Norvège (*Picea abies* L.) de fil droit, exempt de défauts, d'une masse volumique de (450 ± 25) kg/m³ et d'une teneur en humidité de 12 % doivent être utilisées pour fabriquer au total cinq paires d'éprouvettes appariées en flexion avec un joint de colle d'une épaisseur conforme à l'EN 15425:2017, tableau 2 ou à l'EN 16254:2013+A1:2016, Tableau 2.

Deux options sont possibles pour la préparation des éprouvettes :

- Option 1 : Chaque planche doit avoir une largeur minimale de 150 mm, une longueur minimale de 1 260 mm et une épaisseur minimale de 33 mm, et doit être utilisée pour fabriquer une paire d'éprouvettes appariées en flexion selon le schéma représenté à la figure 2.



Dimensions en millimètres

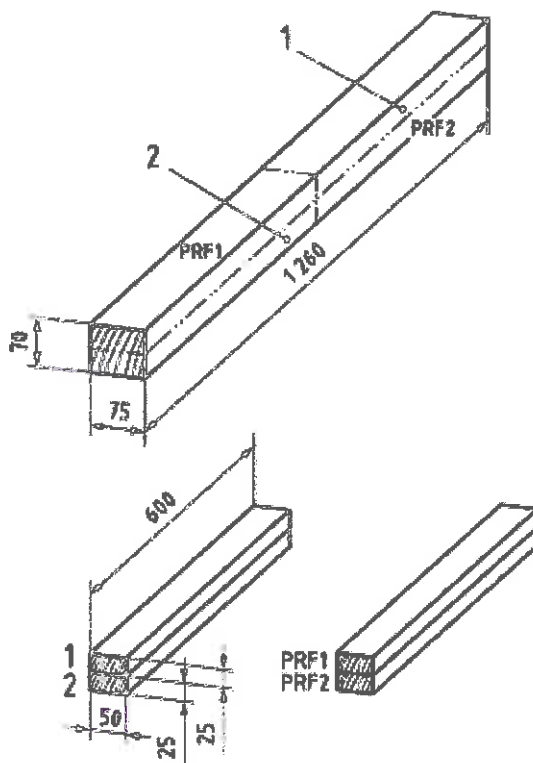
Légende

1 et 2 éléments en bois utilisés pour l'adhésif à soumettre à essai

PRF1 et PRF2 éléments en bois utilisés pour l'adhésif de référence PRF

Figure 2— Schéma de découpe et constitution des paires d'éprouvettes appariées pour l'essai de cisaillement par flexion

- Option 2 : La planche utilisée doit avoir une largeur minimale de 75 mm, une longueur minimale de 1 260 mm et une épaisseur minimale de 70 mm, et doit être utilisée pour fabriquer une paire d'éprouvettes appariées en flexion selon le schéma représenté à la figure 3.



Dimensions en millimètres

Légende

1 et 2 éléments en bois utilisés pour l'adhésif à soumettre à essai

PRF1 et PRF2 éléments en bois utilisés pour l'adhésif de référence PRF

Figure 3— Schéma de découpe et constitution des paires d'éprouvettes appariées pour l'essai de cisaillement par flexion

L'essai de déformation par fluage doit être réalisé en flexion quatre points, les charges étant appliquées à une distance des supports égale à un tiers de la portée de 500 mm ; voir la figure 1. Chacune des deux charges doit être de $(2\,000 \pm 50)$ N. La charge doit être appliquée symétriquement à mi portée, de manière régulière et sans à-coups.

Les plaques d'appui au niveau des supports et des points d'application de la charge doivent avoir une largeur de 60 mm et une longueur minimale de 50 mm. Cette mise en charge entraîne un niveau maximal de contrainte de flexion de 16 N/mm^2 et un niveau maximal de contrainte de cisaillement de $1,2\text{ N/mm}^2$.

Les éprouvettes doivent être soumises à un cycle climatique en plusieurs étapes comme indiqué dans le tableau 1, alternant de manière répétitive entre un climat constant de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(85 \pm 5)\%$ d'humidité relative, et un climat de $(45 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(40 \pm 5)\%$ d'humidité relative. Chaque étape doit durer une semaine et l'essai doit débuter avec un climat de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(85 \pm 5)\%$ d'humidité relative.

Tableau 1 — Cycle climatique en plusieurs étapes

Étape N°	Température °C	Humidité relative %	Durée de l'étape h
1	(20 ± 2)	(85 ± 5)	168
2	(45 ± 2)	(40 ± 5)	168

La charge doit être maintenue pendant la période indiquée dans l'EN 15425 (adhésifs PUR) ou dans l'EN 16254 (adhésifs EPI).

Si l'exigence relative au rapport de fluage relatif spécifié énoncée dans l'EN 15425 ou dans l'EN 16254 est respectée pour la période de charge réduite, l'essai est terminé.

Si l'exigence relative au rapport de fluage relatif spécifié énoncée dans l'EN 15425 ou dans l'EN 16254 n'est pas respectée pour la période de charge réduite, la mise en charge doit être poursuivie comme décrit dans la norme correspondante.

Le rapport moyen de fluage relatif $R_{c \text{ moyen}}$ de l'ensemble des cinq paires d'éprouvettes appariées en flexion doit être évalué à la fin de la période de charge (temps t) comme décrit dans l'EN 15425 ou dans l'EN 16254.

4.5.5 NF EN 15416-4 : 2006 – Adhésif pour structures portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthodes d'essai – Partie 4 : Détermination du temps d'assemblage ouvert pour adhésifs à base de polyuréthane monocomposants

Cette norme spécifie une méthode de détermination du délai d'assemblage ouvert en atmosphère normale.

L'essai est un essai en cisaillement sous traction d'assemblages à recouvrement en bois de hêtre après différents délais d'assemblage ouvert jusqu'à ce qu'on obtienne une valeur de résistance au cisaillement inférieur à 10 N/mm^2 , le coefficient de variation ou le mode de rupture pouvant subir des variations importantes.

Il faut préparer suffisamment de planchettes de hêtre conformément à l'EN 302-1:2004, paragraphe 6.1 pour permettre de confectionner six jeux de chacun dix éprouvettes à joint de colle mince (0,1 mm) au moins.

Après conditionnement dans une atmosphère normale à $(12 \pm 1) \%$ d'humidité, diviser les panneaux en six groupes égaux d'échantillons destinés chacun à fournir une des six séries d'éprouvettes du Tableau 1.

Tableau – Temps d'assemblage ouvert à 20°C et 65 % d'humidité relative

Série d'essais n°	1	2	3	4	5	6
Délai d'assemblage (min)	5	15	30	40	50	60

Découper cinq bandes d'une largeur $b = 20 \text{ mm}$ dans chaque assemblage collé, dans le sens des fibres, en évitant les parties situées à 7,5 mm des bords extérieurs du panneau (EN 302-1:2004, Figure 1). Découper dans ces bandes des éprouvettes de longueur $l_1 = (150 \pm 5) \text{ mm}$ (EN 302-1:2004, Figure 2).

Réaliser des coupes inférieures plates d'une largeur $\leq 2,5 \text{ mm}$ dans les sections collées, perpendiculairement aux fibres, de sorte à obtenir un chevauchement d'une largeur $l_2 = (10,0 \pm 0,1) \text{ mm}$ dans la section du milieu. Les coupes visent à séparer les couches de bois et la couche d'adhésif, mais elles ne doivent pas aller au-delà de la couche d'adhésif.

Avant l'essai deux éprouvettes de chaque série de tests sont utilisés pour mesurer l'épaisseur de colle.

Tester les dix éprouvettes de tous les temps d'assemblage ouvert du Tableau 1. Rejeter les résultats des essais à des valeurs inférieures à 10 N/mm^2 montrant une rupture du bois plutôt qu'au niveau du joint de colle (EN 301:2006, Tableau 2, A1) ainsi que les résultats montrant par examen visuel que l'adhésif n'a pas été convenablement appliqué. Enregistrer tous les résultats, qu'ils soient valides ou non.

Introduire l'éprouvette de façon symétrique entre les mâchoires de la machine d'essai de manière que la distance entre les mâchoires soit comprise entre 50 mm et 90 mm. Serrer l'éprouvette fermement de façon que son grand axe soit aligné dans la direction d'application de la charge. Appliquer une force de traction jusqu'à rupture de l'éprouvette.

Réaliser les essais :

1. . à une vitesse d'augmentation de la charge de $(2,0 \pm 0,5)$ kN/min ; ou
2. . à une vitesse constante d'écartement des mâchoires ne dépassant pas 5 mm/min de telle sorte que la rupture se produise entre 30 s et 90 s.

Enregistrer la charge au moment de la rupture en Newtons. Pour chaque éprouvette soumise à essai, estimer par examen visuel puis enregistrer le pourcentage de rupture du bois à 10 % près et le mode de rupture.

Calculer la résistance au cisaillement de chaque éprouvette à l'aide de l'équation suivante :

$$s = \frac{F}{a}$$

- où :
- s est la résistance au cisaillement en Newton par millimètre carré (N/mm^2) ;
- F est la charge à la rupture en Newton (N) ;
- a est l'aire de la surface testée (200 mm^2).

Exprimer le résultat de l'essai comme une moyenne de la résistance au cisaillement [N/mm^2] de dix essais valides et indiquer le coefficient de variation de chaque série d'essais. Exprimer la rupture du bois comme la moyenne des dix résultats d'essai valides.

4.5.6 NF EN 15416-5 :2017 – Adhésif pour structure portantes en bois de type autre que phénolique et aminoplaste – Méthode d'essai – Partie 5 : Détermination du temps de pressage minimal dans des conditions de référence

Cette norme spécifie une méthode de détermination en laboratoire du temps de pressage minimal pour deux épaisseurs de joint de colle, à savoir les joints minces et de 0,2mm ou 0,3mm à trois températures et trois teneurs en humidité du bois.

L'essai réalisé est un essai de cisaillement en traction d'assemblages à recouvrement en bois de hêtre standards après différents temps de durcissement, jusqu'à trouver une valeur de résistance au cisaillement par traction d'au moins 4 N/mm² à une température donnée et à une teneur en humidité donnée du bois.

Préparer suffisamment de lamelles en hêtre pour permettre de confectionner 15 jeux d'au moins 10 éprouvettes comme défini dans l'EN 302-1 :2013, article 7, avec les épaisseurs de joint de colle suivantes :

- Adhésifs soumis à l'essai selon l'EN 15425 : joints minces et de 0,3+/-0,1mm d'épaisseur ;
- Adhésifs soumis à l'essai selon l'EN 16254 : joints minces et de 0,3+/-0,1mm d'épaisseur pour le domaine d'application « usage général », ou joints minces et de 0,2+/-0,1mm d'épaisseur pour le domaine d'application « petites dimensions ».

Pour les adhésifs à prise très rapide et les joints de colle minces, des éprouvettes de joint à recouvrement simple individuelles (voir EN 302-1 :2013, figure 3) peuvent être préparées pour le collage et la réalisation de l'essai.

Après conditionnement de neuf jeux à 12+/-1%, de trois jeux à 9+/-1% et de trois jeux à 15+/-1% de teneur en humidité du bois dans l'enceinte climatique, les lamelles doivent être légèrement rabotées ou poncées avant d'être réparties en groupes. Les lamelles à 12+/-1% d'humidité doivent être divisées en trois groupes égaux, pour chacune des trois températures d'essai indiquées dans le tableau 1. Tous les groupes doivent être conservés de manière adéquate pour empêcher toute variation de la teneur en humidité.

Chaque groupe de lamelles, ou un nombre suffisant d'éprouvettes individuelles préparées, doit ensuite être transféré dans une enceinte climatique à l'une des températures d'essai décrites dans le tableau 1. L'adhésif à utiliser doit également être conservé à ces trois mêmes températures.

Tableau 1 — Conditions climatiques nominales et exemples de temps de pressage

Teneur en humidité du bois %	Température °C	Temps de pressage h		
9	20	1	2	4
12	15	1	2	4
12	20	1	2	4
12	30	1	2	3
15	20	1	2	3

Les temps de pressage sont choisis de manière à ce qu'au moins l'un des trois temps de pressage donne une résistance au cisaillement par traction moyenne inférieure à 4 N/mm². Si cela n'est pas le cas avec les trois temps de pressage choisis, réaliser des essais supplémentaires avec des temps de pressage plus adaptés.

Dès le temps de pressage écoulé, les lamelles doivent être débloquées et 10 éprouvettes doivent être découpées dans chaque lamelle collée conformément à l'EN 302-1 :2013, 7.3.

Les éprouvettes doivent être immédiatement soumises à l'essai conformément à l'EN 302-1 :2013, 7.6. La durée entre le déblocage et l'essai des éprouvettes ne doit pas être supérieure à 10% du temps de serrage.

Calculer la résistance au cisaillement par traction f_v de toutes les éprouvettes au moyen de la formule suivante :

$$f_v = F_{\max} / A = F_{\max} / 200 \text{ mm}^2$$

où

F_{\max} est la charge à la rupture appliquée, en Newtons (N) ;

A est la surface d'essai collée, en millimètres carrés (mm²).

NOTE f_v est toujours calculée avec une surface A de 200 mm².

Pour chaque série d'essai, calculer la résistance au cisaillement par traction moyenne des 10 résultats arrondie à 0.1 N/mm² près, et le coefficient de variation.

Le temps de pressage minimal doit être calculé par interpolation linéaire des temps de pressage et de la résistance au cisaillement par traction correspondante les plus proches des durées correspondants à une résistance au cisaillement par traction de 4N/mm². La résistance au cisaillement par traction correspondant au temps de pressage le plus court pour chaque température et chaque teneur en humidité doit être inférieure à 4 N/mm².

4.6 NF EN 15425 : 2017 - Adhésifs - Adhésifs polyuréthane monocomposants (PUR) pour structures portantes en bois - Classification et exigences de performance

Cette norme établit une classification des adhésifs polyuréthane monocomposants (PUR) en fonction de leur aptitude à l'utilisation dans les structures portantes en bois dans des conditions climatiques définies, elle spécifie les exigences de performance de ce type d'adhésifs pour la fabrication en usine ou la fabrication de type industriel de structures portantes en bois uniquement.

Les essais présents dans cette norme sont ceux de la NF EN 302-1 à -4, NF EN 302-7 à 8 et NF EN 15416-1, -3 à -5.

4.7 NF EN 16254+A1 : 2016 – Adhésifs – Isocyanate polymérisé en émulsion (EPI) pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance

Cette norme établit une classification des adhésifs isocyanate polymérisé en émulsion en fonction de leur aptitude à l'utilisation dans les structures portantes en bois dans des conditions climatiques définies, et spécifie les exigences de performance de ce type d'adhésifs pour la fabrication industrielle de structures portantes en bois uniquement.

Les essais présents dans cette norme sont ceux de la NF EN 302-1 à -4, NF EN 302-7 et NF EN 15416-2 à -5.

5. DOCUMENTS DU WCTE

Les recueils du WCTE (Word Conference on Timber Engineering) à notre disposition ont été examinés.

5.1 WCTE 1998

L'examen de ce recueil n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

5.2 WCTE 2008

Les documents des thématiques suivantes ont été examinés :

- Design ;
- Durability and restauration ;
- Evaluation ;
- Material ;
- Ndt ;
- Other ;
- Products ;
- Structure ;
- Wood in civil engineering.

L'examen de ce recueil n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

5.3 WCTE 2012

L'examen de ce recueil n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

5.4 WCTE 2014

L'examen de ce recueil n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

5.5 WCTE 2016

L'examen de ce recueil n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

6. RECUEILS DE L'INTER

Les recueils de l'INTER (International Network on Timber Engineering Research anciennement CIB-W18) à notre disposition (de 1973 à 2015) ont été examinés.

Seuls les documents des thématiques suivantes ont été examinés :

- Limit State Design
- Timber Columns
- Stress Grading
- Stresses for Solid Timber
- Timber Joints and Fasteners
- Load Sharing
- Duration of Load
- Timber Beams
- Environmental Conditions
- Laminated Members
- Fracture Mechanics
- Serviceability
- Test Methods

L'examen de ces recueils n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

7. NORMES INTERNATIONALES SUR LE LAMELLE-COLLE

7.1 ANSI A190.1-2012 : American national standard – standard for wood products – Structural Glued Laminated Timber

Cette norme contient les exigences pour la fabrication et le contrôle qualité du lamellé-collé à usage structural. Elle renvoie à un certain nombre de documents pour les essais, les plus pertinents au regard de l'objet de la présente mission sont présentés ci-dessous.

7.1.1 AITC Test T107-2007 – Shear Test

Cet essai est utilisé pour déterminer la qualité du collage des joints de colle en mesurant la résistance au cisaillement et le pourcentage de rupture dans le bois. Les éprouvettes proviennent de la production et sont cisailées parallèlement au fil du bois le long des plans de collage. Le pourcentage de rupture dans le bois est également mesuré.

Un exemple de dispositif de cisaillement peut être trouvé dans ASTM D905, illustré par la figure 1 ci-dessous :

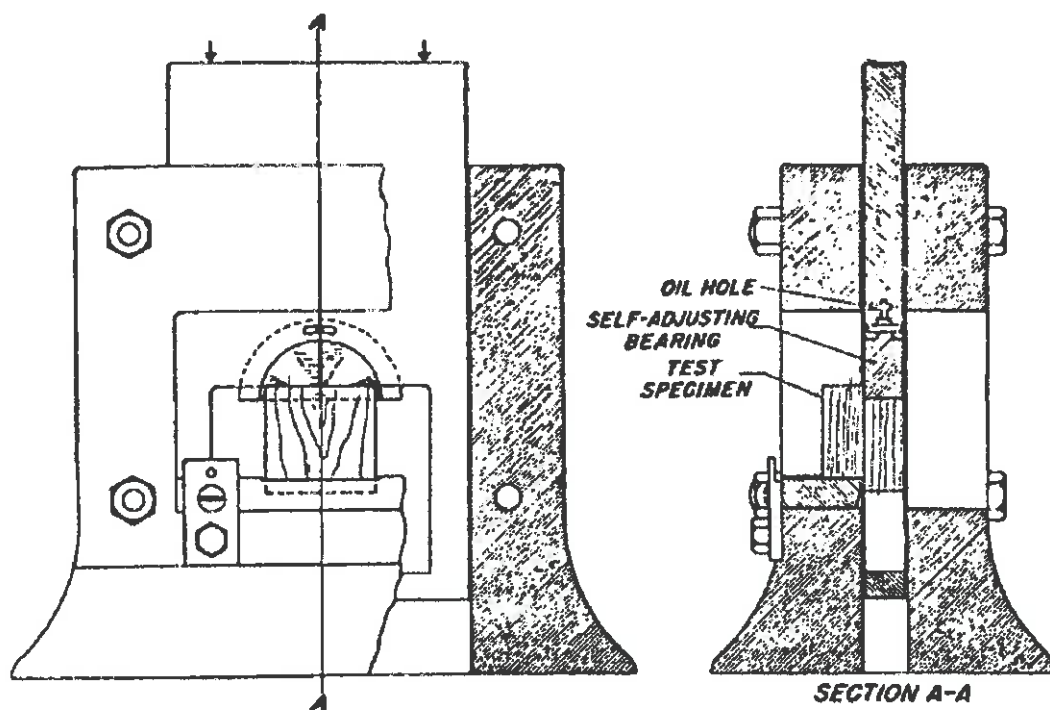
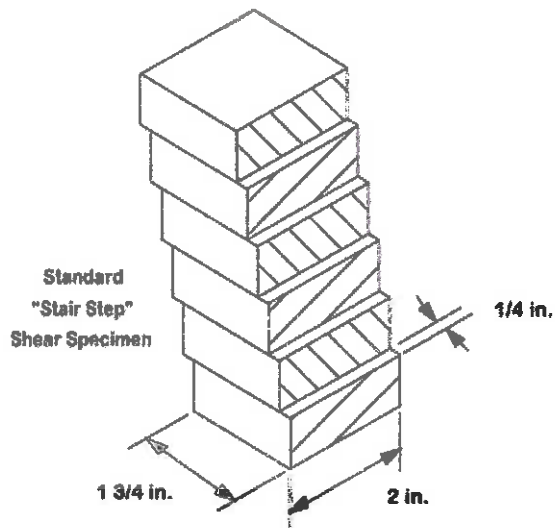


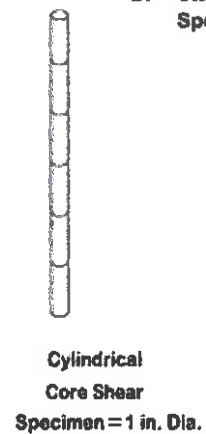
FIG. 1 Shearing Tool

Les essences testées doivent être les essences utilisées pour la fabrication. Un des trois types d'éprouvettes illustrés ci-dessous doit être utilisé.

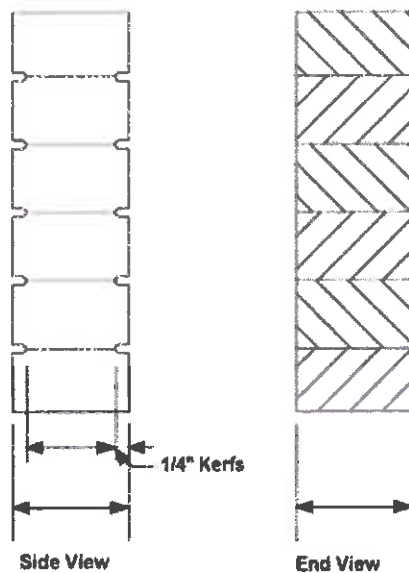
A. Standard Block Specimen:



B. Standard Core Specimen



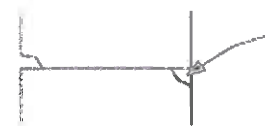
C. Alternate Block Designs:



Note: The Shearing Tool is Modified to Hold the Specimen Glue Line Parallel to the Line of Force.

D. Other Alternates to Block Shown in C Include:

- (1) Alternating the Saw Kerf to Opposite Sides of the Glue Line -



- (2) No Saw Kerfs at All; A Straight 1 1/2 in. x 2 in. Block



Figure T107.1

Shear Specimen Alternatives

7.1.2 AITC Test T110-2007 – Cyclic Délamination Test

Cet essai décrit une méthode pour mesurer les effets d'une exposition cyclique accélérée (vide-pression-humidification/séchage rapide) des joints de colle d'éléments en lamellé-collé.

Pour les plans de collage, les éprouvettes doivent être représentatives de la production. Chaque éprouvette doit avoir une hauteur minimum de 150mm ou la hauteur de l'élément en lamellé-collé si celle-ci fait moins de 150mm. La longueur de chaque éprouvette doit être de 76mm.

Pour les aboutages, l'éprouvette doit être préparée avec un élément ayant une hauteur minimale de 150mm et une longueur d'approximativement 150mm comportant des aboutages dans une ou plusieurs lamelles au centre par rapport à la longueur. Des aboutages individuels peuvent être utilisés quand ils sont coupés pour exposer l'aboutage en coupe, ou les aboutages peuvent être inclus dans la coupe des éprouvettes utilisées pour les plans de collage.

Pour les tests quotidiens, si la délamination observée après un cycle dépasse 5%, le cycle entier doit être répété. La délamination observée et enregistrée à l'issue du second cycle ne doit pas dépasser 10%.

7.2 ASTM 2559-12a : 2012 – Standard Specification for Adhesives for bonded structural wood products for use under exterior exposure conditions

Ce document, initialement approuvé en 1966, a été développé dans le but de garantir que les adhésifs développés et utilisés pour la fabrication de lamellé-collé sont adaptés. Ceci inclus, en tant que niveau maximal de sécurité en cas d'effets de l'humidité, l'exposition complète et continue aux intempéries.

Les exigences de résistance et de durabilité d'un adhésif en classe de service A sont basés sur la performance de l'adhésif dans le lamellé-collé en tant que :

- Résistance au cisaillement par compression après conditionnement ;
- Résistance à la délamination à la suite de trois cycles de vide/pression suivi d'un séchage à température élevée ;
- Résistance au fluage sous charge statique pour des éprouvettes soumises à une charge de cisaillement définie en exposant une série d'éprouvettes à un environnement de température élevée et humidité ambiante et une autre série à un environnement d'humidité élevée.

L'adhésif doit être testé sur les essences de bois qui seront collées ou pour lesquelles il est recommandé, incluant les bois traités. Les éprouvettes doivent être conditionnées jusqu'à ce qu'une humidité entre 9 et 12% soit atteinte.

Six poutres test doivent être fabriquées, une à chacune des conditions limites listées ci-dessous. Tous les autres paramètres doivent être en accord les préconisations du fabricant de l'adhésif.

- Adhésifs liquides :
 - Temps ouvert minimum avec temps d'assemblage fermé maximum ;
 - Temps ouvert maximum avec temps d'assemblage fermé maximum ;
 - Temps ouvert minimum avec temps d'assemblage fermé maximum.
- Adhésif en film :
 - Temps de durcissement minimum ;
 - Température de durcissement minimum ;
 - Pression minimum.

Pour les essais de cisaillement, au moins six éprouvettes doivent être préparées. Quand les éprouvettes en marches d'escalier sont utilisées, en couper deux sur chaque tronçon « A » représentés sur la figure 1.

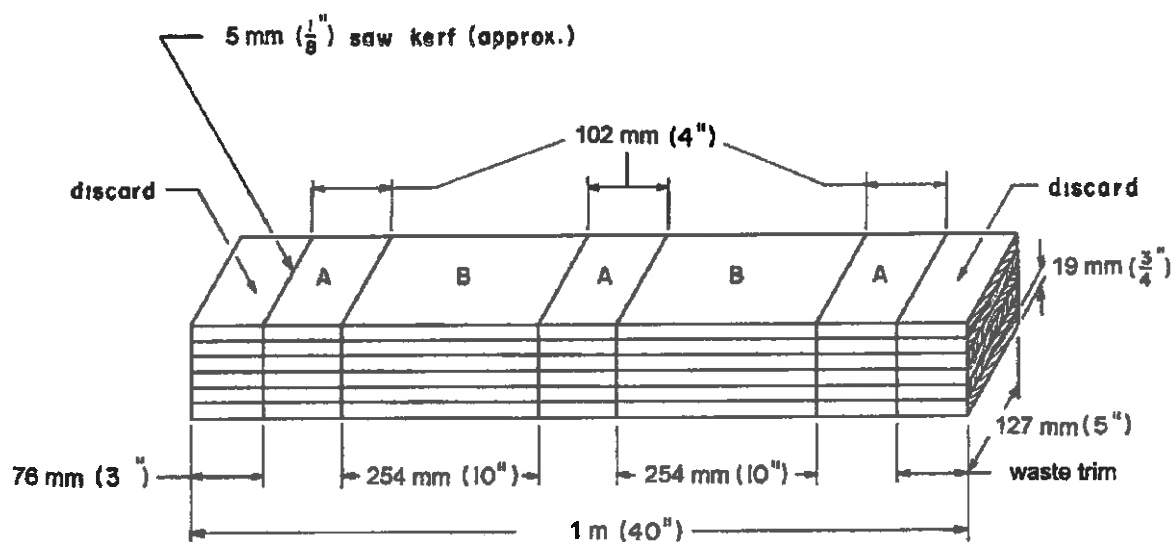


FIG. 1 Laminated Test Beam

Les dimensions des éprouvettes doivent être les suivantes :

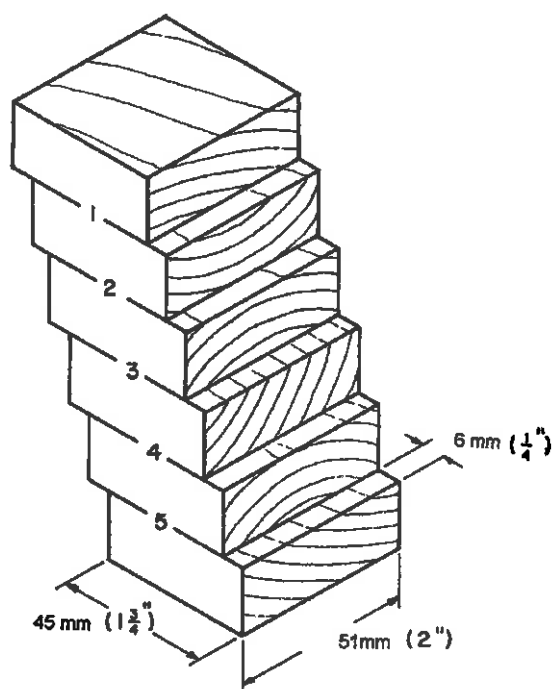


FIG. 2 Stair-Step Shear Specimen

Le dispositif de cisaillement décrit par la figure 1 de la D905 (voir paragraphe 7.1.1 du présent document) est satisfaisant. La résistance moyenne au cisaillement ne doit pas être inférieure aux valeurs précisées dans le tableau 1 pour l'humidité du bois correspondante.

TABLE 1 Required Shear Strength for Structural Laminated Wood Products

Note 1—For species other than those given, strength values shall be based on 90 % of the value for shear parallel to grain at 12 % moisture content. The use of 90 % of shear parallel to grain at 12 % moisture content takes into account the various subspecies of a particular wood species. The values for shear parallel to grain may be found in Tables 4-3a through 4-4b of the Wood Handbook, Forest Products Society (1999 edition). Base the minimum allowable specific gravity on volume for wood at 12 % moisture content. For species not listed see **Note 3**. Adjustments for changes in moisture content shall be made in accordance with formula 4-3 (page 4-34) found in the 1999 Wood Handbook.

Note 2—It has been documented that bonded shear specimens (Test Method **D905** type specimen) on the average provide higher shear strength values than solid wood specimens (Test Methods **D143** type specimen). It may appear to be inconsistent to compare shear strength data of bonded specimens to data based on 90 % of the solid wood shear strength found in the Wood Handbook. However, the goal of evaluating shear strength of adhesives in Specification D2559 is to demonstrate the shear strength in a laminated product (tested using Test Method **D905** type specimens) meets or exceeds the strength of a solid wood beam when tested by standard procedures for solid wood (Test Methods **D143** type specimen).

Note 3—For species not found in the 1999 Wood Handbook, values for shear parallel to grain at 12 % moisture content using solid wood are to be obtained on clear, straight-grained specimens following specific ASTM test methods and procedures. These include Test Methods **D143** and Practice **D2555**. Test Methods **D143** testing is to be performed on a minimum of 28 shear strength specimens.

Species	Required Shear Strength, KPa (psi) ^A			Minimum Allowable Specific Gravity of Solid Wood Used for Each Lamination ^B
	8 %	Moisture Content of Wood at Test 12 %	16 %	
Douglas fir	7 600 (1 110)	7 000 (1 020)	6 500 (940)	0.43
Hemlock, western	8 900 (1 280)	8 000 (1 160)	7 200 (1 050)	0.41
Larch, western	9 400 (1 370)	8 400 (1 220)	7 600 (1 100)	0.55
Oak, white	14 500 (2 080)	12 400 (1 800)	11 000 (1 560)	0.68
Pine, southern	10 400 (1 510)	9 600 (1 250)	7 100 (1 040)	0.51
Redwood	6 300 (910)	5 800 (850)	5 400 (790)	0.40

^A Based on 90 % of the shear strength parallel to grain at 12 % moisture content from Table 4-3 of the 1999 Wood Handbook. Use the same shear strength values for a specific species when chemically treated wood is used.

^B Based on weight when oven dry and volume at 12 % moisture content.

Le pourcentage moyen de rupture dans le bois ne doit pas être inférieur à 75% pour toutes les essences listées dans le tableau 1.

Pour les essais de délamination, six éprouvettes doivent être préparées, trois à partir de chaque tronçon « B » représentés sur la figure 1. Chaque tronçon de 254mm doit être coupé en trois tronçons de 76mm mesurés parallèlement au fil du bois. 18 éprouvettes provenant de trois poutres test doivent être testés.

Après trois cycles de vide-pression-séchage, la délamination mesurée pour chaque condition de fabrication ne doit pas dépasser 1% pour chaque plan de collage de l'éprouvette.

Pour la résistance au cisaillement sous chargement statique, l'essai réalisé est similaire à celui décrit dans EN 15416-2 (voir précédemment). Deux jeux de deux éprouvettes sont chargés de manière identique puis conditionnés dans des ambiances différentes. Le glissement est ensuite mesuré.

7.3 CSA 0122-16 : 2016 – Structural glued laminated timber

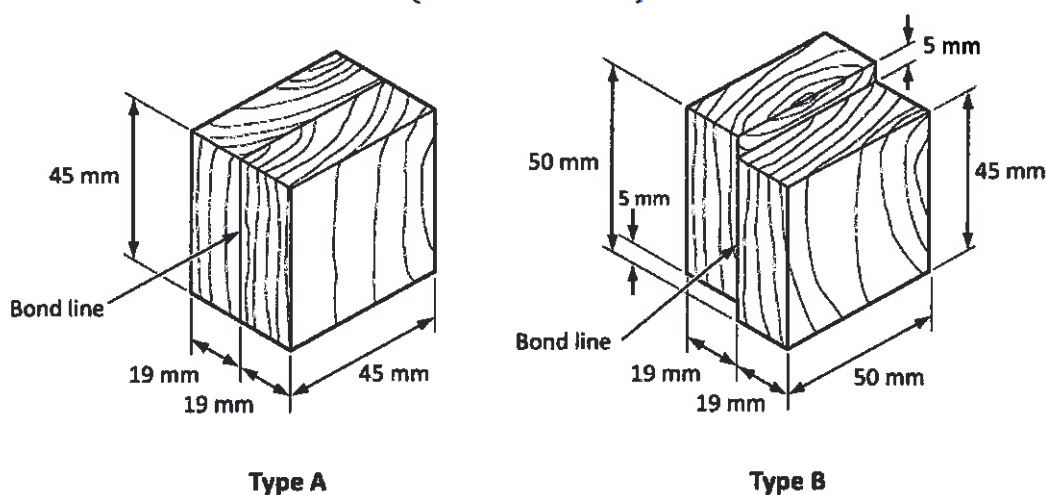
Cette norme donne les exigences minimales pour la fabrication de lamellé-collé pour les essences précisées dans la CSA O86. En outre, elle spécifie des essais de contrôle de production.

7.3.1 Essai de cisaillement

Au moins six éprouvettes doivent être testées depuis un minimum de trois lots par poste. Les éprouvettes doivent être sélectionnées pour inclure les joints de collage à l'intérieur, à l'extérieur et intermédiaires d'un lot. L'échantillonnage doit comprendre chaque couple essence/adhésif produit au cours du poste.

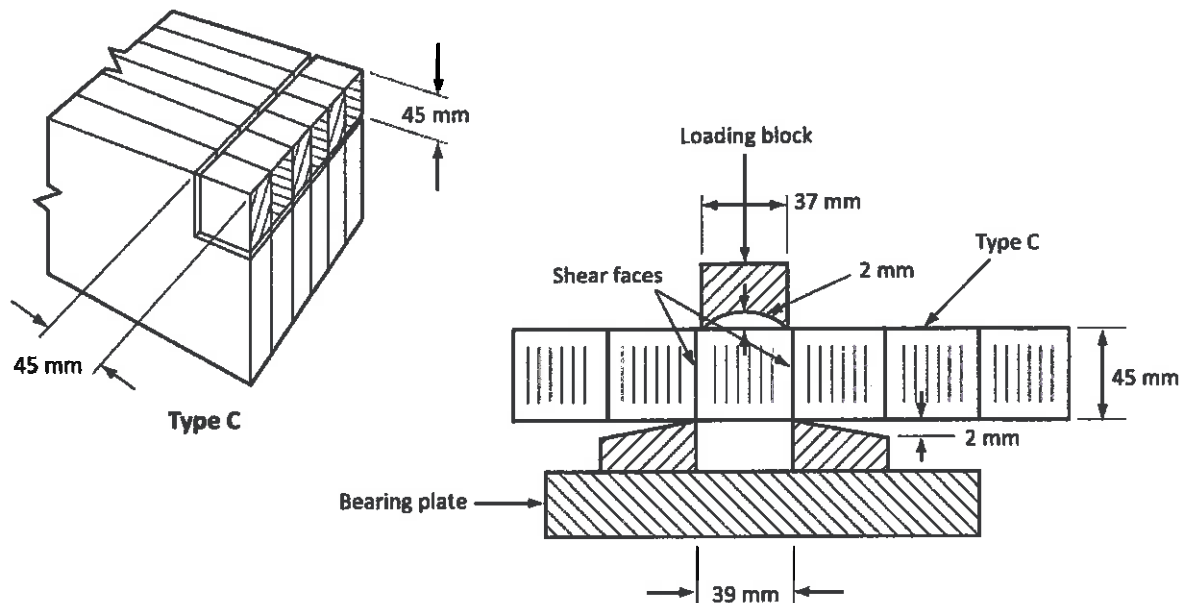
Les éprouvettes de type A ou B tels que décrits par la figure 2 ou de type C tel que décrit par la figure 3 doivent être coupées à une ou deux extrémités de l'élément.

Figure 2
Block shear test specimens for bond quality
(See Clause 7.2.3.)



Note: Length and width of Type A and B specimens may vary slightly, but shear area should be $2000 \text{ mm}^2 \pm 100 \text{ mm}^2$.

Figure 3
Block shear stick test specimen for bond quality
 (See Clause 7.2.3.)



Note: Depth and width of specimen may vary slightly, but the shear area of the two shear faces should be $4000 \text{ mm}^2 \pm 5\%$.

Après essais, la résistance moyenne au cisaillement des éprouvettes de chaque lot testé doit être supérieure à 3,5 fois la résistance spécifique au cisaillement longitudinal pour le lamellé-collé de l'essence considérée pour la durée de chargement de terme standard et la condition de séchage de service tabulées dans la CSAO86. La résistance minimale au cisaillement doit être supérieure à 1,75 fois la valeur précédente.

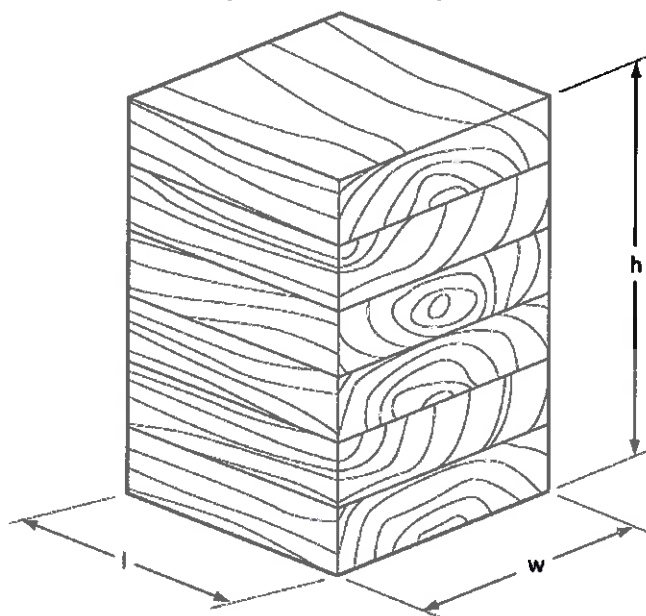
Le pourcentage moyen de rupture dans le bois des éprouvettes de chaque lot doit être de 80% minimum. Un minimum de 95% des éprouvettes sur 20 lots consécutifs doit avoir un pourcentage de rupture dans le bois d'au moins 60%.

7.3.2 Essai de cycle de vide-pression

Les fabricants doivent procéder à des essais de cycle de vide-pression au moins une fois par poste pour les aboutages et au moins trois fois par poste pour les plans de collage.

Pour les plans de collage, les éprouvettes doivent être sélectionnées à partir d'un minimum de trois éléments de la production séparés sélectionnés aléatoirement. Au moins un échantillon doit être pris pour chaque couple essence/adhésif produit pendant le poste. Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

Figure 4
Vacuum-pressure cycle test specimen
(See Clause 7.3.3.)



Legend:

- h** = height (≥ 150 mm)
- l** = length (70–80 mm)
- w** = width (≥ 80 mm)

Note: If specimen is to be cut into smaller sections, no specimen shall have dimensions smaller than $h = 150$ mm, $l = 70$ mm, and $w = 80$ mm.

Après le cycle de vide-pression-séchage, la délamination d'un seul joint de collage ne doit pas dépasser 10% de la longueur totale du joint considéré.

Pour les aboutages, l'éprouvette doit être prise dans un élément de production sélectionné au hasard. Chaque couple essence/adhésif produit au cours du poste doit être représenté. Les aboutages doivent être découpés pour représenter la section complète de l'aboutage.

Après un cycle complet de vide-pression-séchage, la délamination totale ne doit pas dépasser 5% de la longueur totale du joint de colle. Si cette valeur est dépassée, un second cycle doit être réalisé sur les mêmes éprouvettes, la délamination totale ne doit pas dépasser 10%.

7.4 ISO/DIS 8375 : 2016 – Structures en bois – Bois lamellé-collé – Méthodes d'essai pour la détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques

Le présent projet de norme internationale spécifie des méthodes d'essai pour déterminer les valeurs caractéristiques suivantes du bois lamellé-collé : le module d'élasticité en flexion, le module de cisaillement, la résistance à la flexion, le module d'élasticité en traction axiale, la résistance à la traction axiale, le module d'élasticité en compression axiale, la résistance à la compression axiale, le module d'élasticité en traction transversale, la résistance à la traction transversale, le module d'élasticité en compression transversale, la résistance à la compression transversale et la résistance au cisaillement.

C'est l'équivalent de EN 408 au niveau international.

7.5 ISO 10983 : 2014 – Timber – Finger Joints – Minimum production requirements and testing methods

Cette norme internationale fixe les exigences minimum de production et d'essais pour les aboutages à entures multiples des éléments bois à usage structural tels que le bois lamellé-collé, le CLT et le bois massif abouté.

Elle précise que l'adhésif utilisé doit respecter les exigences de ISO 20152-1. Au sujet des exigences sur les essais, il est précisé que la résistance des aboutages doit être déterminée par le biais d'essais de qualification et vérifiée pour chaque lot de production. Les essais peuvent être réalisés en flexion ou en traction.

7.6 ISO 12578 :2016 – Timber structures – Glued laminated timber – Component performance requirements

Cette norme formule les exigences pour les composants des éléments en lamellé-collé à usage structural. Elle est applicable pour les produits ayant une épaisseur finie de lamelles inférieure ou égale à 50mm.

Pour les structures en classe de service 3, des essais de délamination doivent être réalisés selon les méthodes A, B ou une combinaison des méthodes D et E de l'ISO 12580. Suivant la méthode et le nombre de cycles comme exigé par l'ISO 12580, le pourcentage de délamination de chaque éprouvette doit être inférieur aux valeurs spécifiées dans le tableau 1 :

Table 1 — Maximum delamination

Service class	Delamination method ISO 12580	Delamination — % after cycle 1	Delamination — % after cycle 2
3	A	5	10
3	B	5	10
3	Db	—	5
	Eb	—	5
2	A ^a	5	10
2	B ^a	5	10
2	C	5	—
2	Db	5	—
	Eb	5	—

^a Methods A and B are not required for service class 2; but if they are used, the same delamination requirements as for service class 3 apply.

^b It is necessary that methods D and E be used together.

For all delamination methods, the maximum delamination percentage of any single glue-line shall be less than or equal to 20 %.

NOTE As an alternative to 5.5.5.2.2, the provisions of EN 14080:2013, 5.5.5.2.2 are applicable.

Pour les essais de cisaillement, cette norme précise que chaque résultat d'essai réalisé conformément à ISO 12579 de chaque éprouvette doit satisfaire les exigences du tableau 2 ci-dessous en ce qui concerne la résistance au cisaillement et le pourcentage de rupture dans le bois.

Table 2 — Minimum wood failure percentages (WFP) related to the required shear strength, f_v

Shear strength f_v in N/mm ²	Average			Individual values		
	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Minimum wood failure percentage, % ^a	90	72	45	100	74	20

Linear interpolation shall be used.

^a For average values, the minimum wood percentage is: $144 - (9f_v)$. For the individual values, the minimum wood failure percentage for the shear strength $f_v \geq 6$ N/mm² is: $153,3 - (13,3f_v)$.

7.7 ISO 12579 : 2007 «Timber Structures – Glued laminated timber – Method of test for shear strength of glue lines

Cette norme internationale spécifie une méthode d'essai de contrôle de production pour la résistance au cisaillement des joints de collage dans le lamellé-collé.

Une contrainte de cisaillement est appliquée au joint de colle jusqu'à la rupture. La charge à la rupture est enregistrée et le pourcentage de rupture dans le bois est évalué.

Les éprouvettes doivent être prélevées dans la production telle que définie dans ISO 12578.

Les dimensions des éprouvettes sont telles que décrites par la figure ci-dessous, avec b et t égaux à 50mm. Des éprouvettes alternatives sont également décrites.

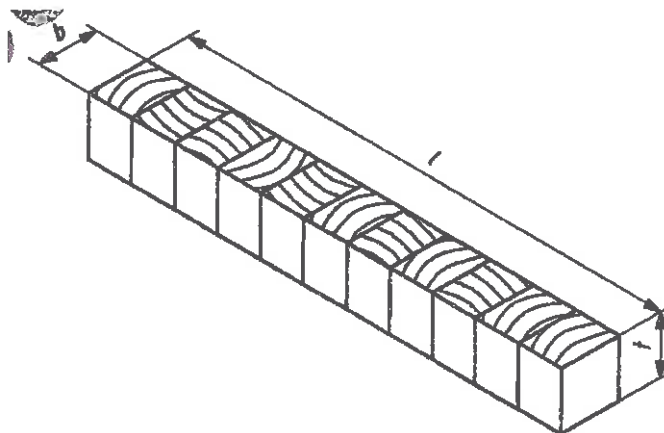
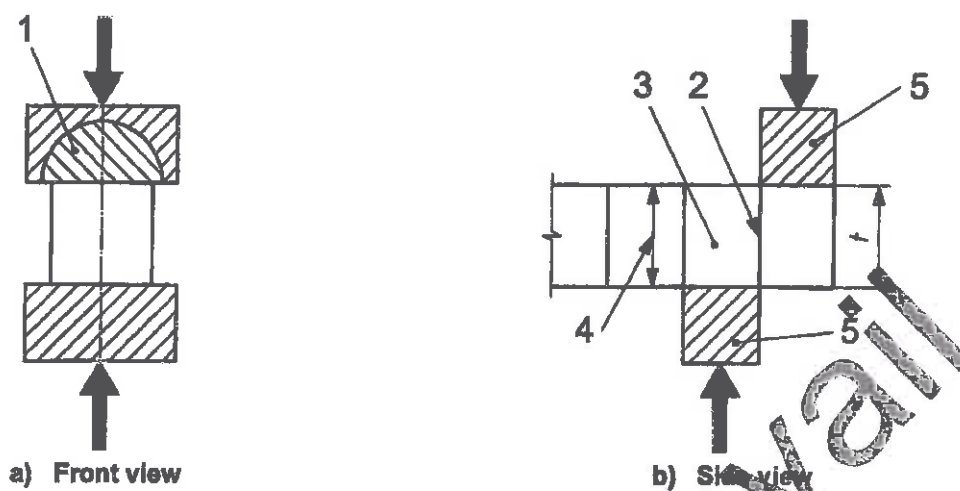


Figure 2 — Standard rectangular-prism specimen

Les essais sont réalisés de la manière suivante :



Key

- 1 cylindrical self-aligning platen
- 2 sheared plane and bond line
- 3 test specimen to be clamped as necessary
- 4 grain direction
- 5 shearing apparatus

Figure 7 — Method of applying shear load to a glue line

Le pourcentage de rupture dans le bois doit être évalué à 5% près. La résistance au cisaillement est calculée suivant la formule ci-dessous :

$$f_s = \frac{F_u}{A}$$

Où :

F_u est la résistance à la rupture en Newtons ;
 A est l'aire cisailée en mm².

7.8 ISO 12580 : 2007 – Timber Structures – Glued laminated timber – Methods of test for glue-line delamination

Cette norme internationale spécifie cinq méthodes de délamination dans le cadre du contrôle de production pour les plans de collage du bois lamellé-collé.

Le principe est de générer un gradient dans l'humidité du bois afin d'engendrer des contraintes internes. Ceci conduit à de la traction perpendiculaire aux plans de collage, un mauvais collage sera mis en évidence par de la délamination.

Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

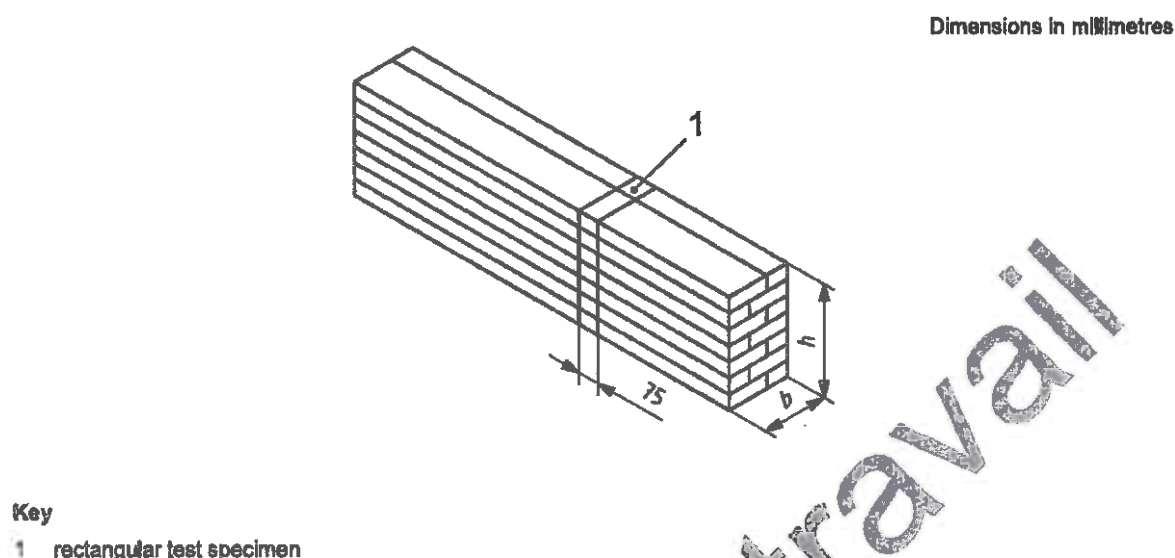


Figure 1 — Test specimen cut from a glulam member

La norme décrit les cycles des cinq méthodes A, B, C, D et E.

Pour chaque éprouvette, les pourcentages de délamination doivent être calculés. Si un cycle supplémentaire est réalisé, les pourcentages de délamination doivent être calculés avant et après.

7.9 ISO/DIS 16696-1 : 2017 - Timber Structures – Cross laminated timber – Part 1 : Component performance and production requirements

Cette norme formule les principes de base pour la performance des composants et les exigences minimales de fabrication pour le CLT.

Elle précise que l'adhésif doit permettre la réalisation de joints durables dans le CLT pour la classe de service visée et doit respecter les exigences de ISO 20152-1. Lorsqu'une durabilité à la chaleur est requise, les adhésifs doivent respecter les exigences des paragraphes 5.2 et 5.3 de ISO 20152-2.

Les aboutages du CLT doivent respecter les exigences de ISO 10983.

Cette norme précise que l'intégrité des joints de collage entre couches doit être vérifiée avec l'essai de délamination national approprié. La résistance des joints à chant doit être vérifiée par des essais de cisaillement conformément à la norme nationale appropriée.

7.10 ISO 20152-1:2010 – Timber Structures – Bond performance of adhesives – Part 1 : Basic requirements

Cette partie de ISO 20152 spécifie les exigences de performance de base pour les adhésifs utilisés pour le collage structural des éléments bois. Ces exigences dépendent de la classe de service 1, 2 et 3.

Les exigences pour la liaison adhésive données dans cette partie de ISO 20152 sont basées sur les performances de l'adhésif mesurées en tant que :

- a) Résistance à la dégradation biologique ;
- b) Dégâts acides à la fibre de bois ;
- c) Résistance au cisaillement à l'état humide et à l'état sec ;
- d) Résistance à la délamination sous exposition à l'humidité et séchage ;
- e) Résistance au fluage sous charge de cisaillement statique sous exposition à humidité élevée, chaleur et humidité combinées.

Pour les cas c), d) et e), deux méthodes alternatives sont présentées. La méthode A est basée sur CSA O112.9 et la méthode B sur les méthodes d'essai européennes équivalentes.

a) Résistance à la dégradation fongique

Si l'adhésif contient des composants à base d'amylacés et/ou de protéines, l'adhésif doit posséder des propriétés antifongiques suffisantes pour empêcher la croissance des éléments fongiques sélectionnés pour un classement OC, OM or NG tel que défini dans ASTM D4300.

Le test doit être réalisé conformément à ASTM D4300.

b) Dégâts acides à la fibre de bois

Si le pH de l'adhésif mélangé ou, en cas d'application séparée, d'un de ces composants est inférieur à 3, l'adhésif doit être testé conformément à EN 302-3 et doit satisfaire aux exigences de EN 301.

Le pH de l'adhésif mélangé doit être déterminé conformément à ASTM D1583 ou EN302-3.

c) Résistance au cisaillement

Méthode A (cisaillement de bloc)

Les résultats pour le cisaillement de bloc doivent être supérieurs ou égaux aux valeurs moyennes données dans le tableau 1 et aux pourcentages de rupture dans le bois donnés dans le tableau 2.

Table 1 — Median shear strength requirements (MPa)

Treatment and condition at test	Service Class 3		Service Classes 1 and 2
	Hardwood ^a	Softwood ^b	Softwood only
6.5.1.3.2 — Dry	19	10	10
6.5.1.3.3 — Wet (Vacuum-pressure test)	11	5,6	6,5
6.5.1.3.5 — Wet (Boil-dry-freeze test)	6,9	3,5	4,1

^a Oven-dry specific gravity shall not be less than 0,65.
^b Oven-dry specific gravity shall not be less than 0,49.

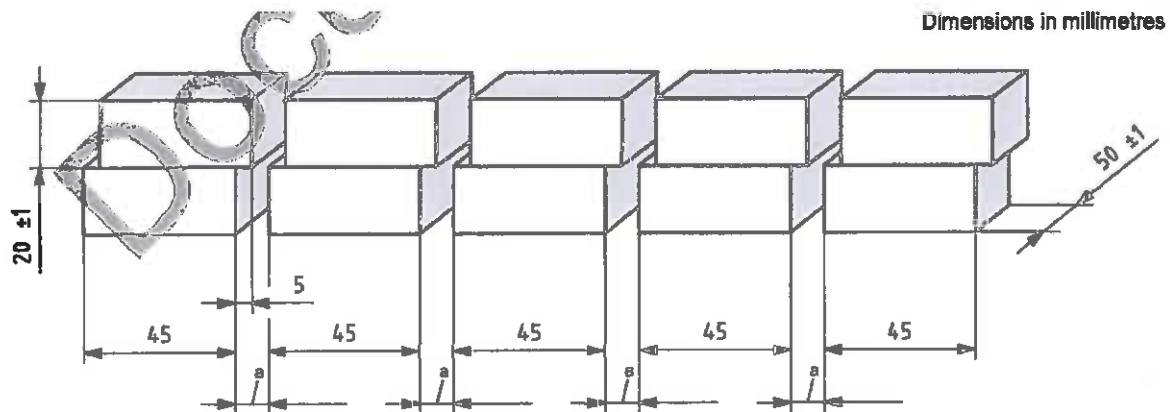
Table 2 — Wood failure (%) Requirements

Test condition	Service Class 3				Service Classes 1 and 2	
	Hardwood ^a		Softwood ^b		Softwood only	
	Lower quartile	Median	Lower quartile	Median	Lower quartile	Median
Dry	15	60	75	85	75	85
Wet	35	80	75	85	75	85

^a Oven-dry specific gravity shall not be less than 0,65.
^b Oven-dry specific gravity shall not be less than 0,49.

Six assemblages d'essai séparés pour chaque configuration d'essai doivent être préparés. Trois pour le temps d'assemblage minimum et trois pour le temps d'assemblage maximum recommandés par le fabricant de l'adhésif. Un total de 18 assemblages d'essai est requis pour réaliser tous les essais de cette section.

Les dimensions sont les suivantes :



^a Saw kerf.

Figure 1 — Shear block assembly dimensions

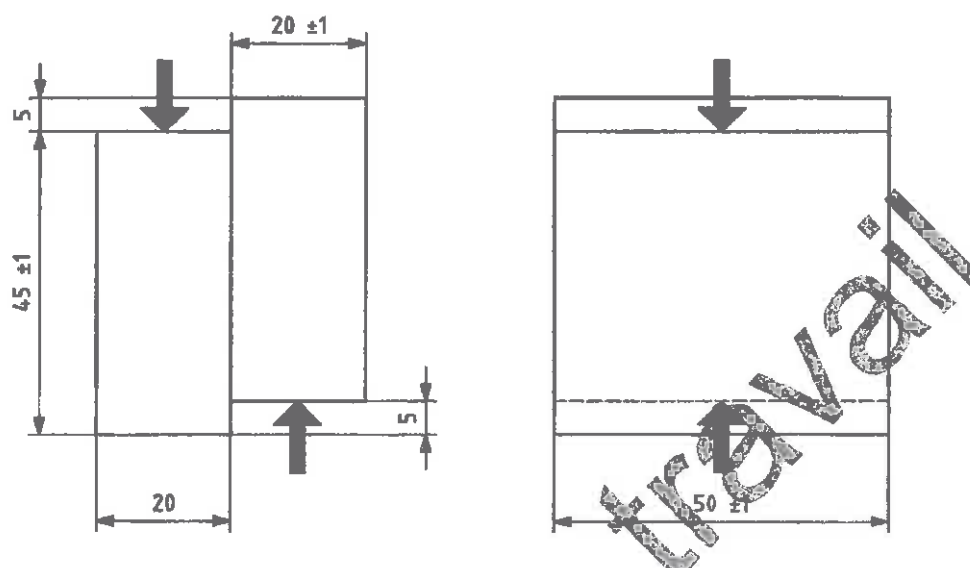


Figure 2 — Shear block dimensions

Les éprouvettes doivent être soumises à trois essais : un essai sec, un essai vide-pression (un pour la classe de service 3 et un pour la classe de service 1 et 2) et un essai ébullition-séchage-gel. Il doit y avoir 30 éprouvettes pour chaque test, 15 à partir des assemblages préparés avec le temps d'assemblage minimum et 15 préparés avec le temps d'assemblage maximum.

Pour l'essai vide-pression en classe de service 3, l'essai de cisaillement est réalisé sur des éprouvettes humides alors que pour celui en classe de service 1 et 2, les éprouvettes sont conditionnées à 20/65 avant essai.

Pour l'essai ébullition-séchage-gel en classe de service 3, le cycle est répété 8 fois et l'essai de cisaillement est réalisé sur des éprouvettes humides. Pour l'essai en classe de service 1 et 2, l'essai est répété 3 fois et l'essai de cisaillement est réalisé sur des éprouvettes conditionnées à 20/65.

Méthode B

Lorsque la méthode B est utilisée, l'essai de cisaillement par traction décrit par EN 302-1 avec les exigences de EN 301 doivent être appliqués.

d) Résistance à la délamination

Méthode A

Pour les feuillus, pour les adhésifs destinés à être utilisés en classe de service 3, la délamination totale d'un seul joint de collage ne doit pas dépasser 1,6% de la longueur totale du joint de collage de l'assemblage. Pour que l'adhésif soit approuvé, trois assemblages testés sur quatre doivent satisfaire ces exigences. Il n'y a pas d'exigences en classe de service 1 et 2 pour les feuillus.

Pour les résineux, pour les adhésifs destinés à être utilisés en classe de service 1, 2 et 3, la délamination totale d'un seul joint de collage ne doit pas dépasser 1% de la longueur totale du joint de collage de l'assemblage. Pour que l'adhésif soit approuvé, trois assemblages testés sur quatre doivent satisfaire ces exigences.

Les méthodes d'essai sont identiques pour les classes de service 1, 2 et 3.

Quatre assemblages séparés doivent être préparés : deux pour le temps d'assemblage minimum et deux pour le temps d'assemblage maximum recommandés par le fabricant de l'adhésif. La norme décrit la préparation des éprouvettes et le cycle d'essai.

Méthode B

Lorsque la méthode B est utilisée, l'essai de délamination décrit dans EN 302-2 avec les exigences de EN 301 doivent être appliqués.

c) Résistance au fluage

Méthode A

Le déplacement global moyen dû au fluage pour toutes les sections collées et pour chacune des six éprouvettes ne doit pas dépasser 0,05mm. Le déplacement maximum moyen dû au fluage pour chacun des assemblages collés ne doit pas dépasser 0,25mm après la période de chargement préconisée.

Les méthodes d'essai sont identiques pour les classes de service 1, 2 et 3.

Neuf assemblages d'essai en pleine longueur doivent être réalisés, trois pour chacune des trois conditions d'essai (A, B et C), voir tableau 6 ci-dessous.

Table 6 — Environmental test conditions for creep resistance test specimens

Environmental test conditions	Condition prior to loading	Condition while under load	Stress level MPa
A	At least seven days at 20 ± 2 °C and minimum 95 % relative humidity.	20 ± 2 °C, 95 % relative humidity for a period of seven days.	$2,5 \pm 0,1$
B	At 20 ± 2 °C and 65 ± 5 % relative humidity until a constant weight is attained (see note to 6.5.1.3.2).	Minimum 70 ± 2 °C and ambient relative humidity for a period of seven days.	$2,5 \pm 0,1^a$
C	Cold water vacuum-pressure soak as specified in 6.5.1.3.3.	Wrap specimen to prevent moisture loss and maintain at 50 ± 2 °C for a period of 28 days. ^b	$2,5 \pm 0,1^a$

^a The applied stress level shall be increased to compensate for the decrease in the spring constant when the creep rig is heated to 50 °C or 70 °C. This can be determined by comparing the spring constant of the spring at room temperature with that when the spring is heated to the specified temperature.

^b The wrapping shall be clear, flexible film (such as polyvinylidene chloride) with sufficient thickness to resist puncture. The seams shall be sealed using sheathing tape or a similar product with sufficient flexibility and resistance to heat. During the load period, there should be condensation visible on the inside surfaces of the wrap to ensure that the specimen moisture content is above the fibre saturation point.

L'essai est similaire à celui décrit par EN 15416-2.

Méthode B

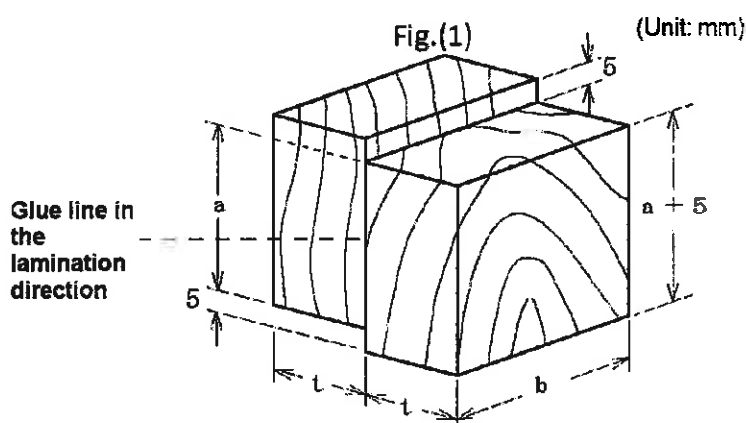
Lorsque la méthode B est utilisée, l'essai de cisaillement par compression décrit par EN 15416-2 avec les exigences de EN 15425 doivent être appliquées.

7.11 Japanese Agricultural Standard for Glued laminated timber

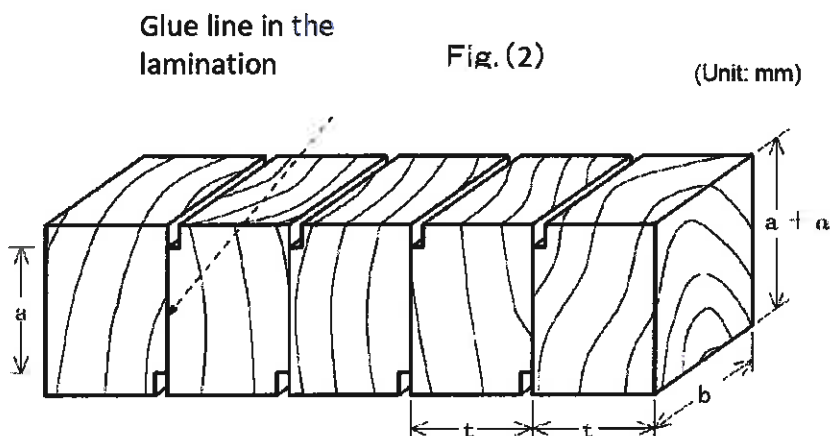
Cette norme fixe les exigences pour les éléments en bois lamellé-collé.

Elle décrit des essais de délamination des plans de collage qui peuvent réalisés soit par vide-pression soit par eau froide-eau bouillante. Pour la méthode eau froide-eau bouillante, deux éprouvettes, une pour chaque condition, doivent être prélevées à chaque extrémité de l'élément en bois lamellé-collé.

Des essais de cisaillement de bloc sont également décrits. Les dimensions des éprouvettes doivent être conformes à celles décrites par la figure 1 ou 2 ci-dessous :



(Note) "a" and "b" shall be any length ranging from 25 mm to 55 mm.



(Note) "a" shall be any length ranging from 25 mm to 55 mm, "α" shall be an incision depth that is suitable for the device used. and "t" shall be the thickness of lamina.

Cette norme décrit également des essais de délamination des aboutages. Ces essais doivent généralement être réalisés à l'essai initial mais pour certains systèmes d'application de la colle, ils doivent également être réalisés en contrôle de production.

Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

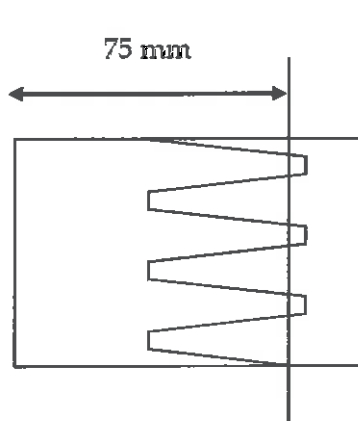


Figure 13. Finger length < 16 mm.

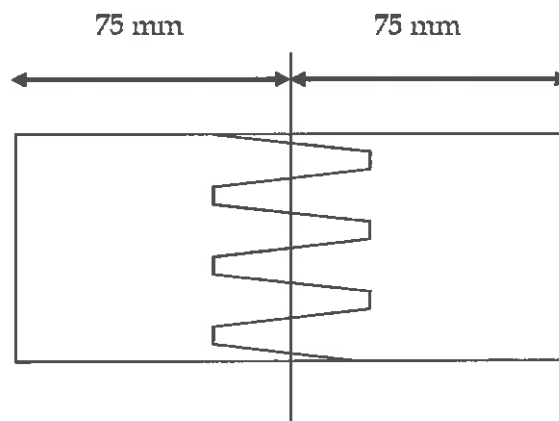


Figure 14. Finger length > 16 mm.

Cet essai est réalisé au moyen de la méthode de l'eau bouillante.

8. SYNTHÈSE ET PISTES D'OPTIMISATION DU PROTOCOLE PROPOSÉ PAR FCBA

8.1 Etat des lieux au niveau international sur les éventuels études et essais déjà réalisés en lien avec la problématique

La présente étude bibliographique n'a pas permis d'identifier d'études en lien avec la problématique objet du présent rapport.

8.2 Etat des lieux au niveau international sur les éventuels protocoles d'essai existants qui pourraient permettre de répondre à la problématique


Mis à part des essais de durée de vie en conditions extérieures déjà évoqués précédemment, longs et coûteux, et les essais décrits par EN 15416-2, qui ne permettent de tester que des petites éprouvettes avec de faibles épaisseurs de lamelles et nécessiteraient la fabrication d'un dispositif spécifique, la présente étude bibliographique n'a pas permis de mettre en évidence des protocoles d'essai qui pourrait permettre de répondre à la problématique objet du présent rapport.

8.3 Nouvelles pistes d'optimisation du protocole proposé par FCBA

Néanmoins, la présente étude bibliographique a permis de mettre en évidence des pistes d'optimisations du protocole proposé par FCBA. Ces pistes sont les suivantes :

- Des précisions seront apportées dans le cahier des charges de prélèvement, outre la masse volumique déjà envisagée, les bois devront être droits de fil.
- L'angle des cernes doit être précisé dans le cahier des charges de fabrication et ce qu'on entend exactement par débit sur dosse et débit sur quartier en termes d'angle des cernes.
- Il semble important que le collage soit réalisé par FCBA dans les conditions maîtrisées d'un laboratoire pour limiter au maximum la variabilité avant essais.
- Pour que la partie essais de l'étude soit complète, il faut en toute rigueur également regarder l'impact de l'épaisseur des lamelles sur le comportement des aboutages en classe de service 3. A cet effet, des essais de délamination des aboutages et des essais de délamination des aboutages couplés à des essais de flexion pourraient être réalisés.

Julien Brassy



**Ingénieur Construction
Structure Bois**

Serge Le Nevé



Responsable CIAT

La présente mission, dont l'objet principal est d'établir un diagnostic, ne saurait être assimilée à une prestation partielle de maîtrise d'œuvre (dans le cadre de projets de réhabilitation) au sens strict du décret d'application du 29/11/1993 relatif à la loi MOP du 12/07/1985.

Les éventuels éléments de prescription de réhabilitation contenus dans ce rapport ne comportent aucun caractère obligatoire ou exhaustif, tout concepteur missionné ultérieurement pouvant évidemment proposer les alternatives techniques de son choix.

Les éventuels échantillons disponibles à FCBA sont conservés pendant six mois à compter de l'expédition du rapport d'expertise. Au-delà de cette durée, l'échantillonnage sera détruit. Pendant cette période, le client doit organiser la reprise des échantillons à sa charge s'il y a lieu. En aucun cas FCBA ne pourra être considéré comme défaillant pour non présentation d'échantillons à l'issue de ce délai.