

Référence : 00132126

## APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL18-234\_v2 POUR AVIS TECHNIQUE OU DOCUMENT TECHNIQUE D'APPLICATION (DTA)

### Etude du comportement au feu des caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib »

**Demandeur :**  
**STORA ENSO**  
PO box 309  
00101 HELSINKI  
FINLANDE

| Rédacteur(s)   | Vérificateur  | Approbateur  | Version | Date       |
|--|---|--|---------|------------|
| Amine LAHOUAR  | Yahia MSAAD   | Olivier CHEZE  | 1.      | 24/05/2019 |
| Maria BLASONE<br> | Seddik SAKJI<br> | Seddik SAKJI<br> | 2.      | 05/02/2024 |

DUREE DE VALIDITE : 5 ans soit **jusqu'au 05/02/2029**

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral, sauf accord particulier du CSTB.

Ce document comporte 37 pages.

#### CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 83 28 – [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

**APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL18-234\_v2**  
POUR AVIS TECHNIQUE OU DOCUMENT TECHNIQUE D'APPLICATION (DTA)

**Etude du comportement au feu des caissons nervurés**  
**« Sylva™ CLT Rib »**

| Version | Date       | Principales modifications effectuées  | Partie modifiée  |
|---------|------------|---|--|
| 1.      | 24/05/2019 | - Création  | /  |
| 2.      | 05/02/2024 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à jour du nom commercial du procédé</li> <li>- Mise à jour des paramètres de dimensionnement au feu</li> <li>- Intégration des données expérimentales</li> <li>- Vérification des sections résiduelle selon Eurocode</li> <li>- Analyse du joint de colle entre la membrure et la nervure</li> <li>- Longueur efficace de la section réduite</li> <li>- Intégration des assemblages à mi-bois par languette</li> <li>- Intégration des applis par la membrure CLT supérieure</li> </ul> | Tout le document<br>§5.1.<br>§5.2<br>§5.3.<br>§5.4<br>§5.5<br>§5.6<br>§5.6 |

## SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. OBJET</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCES</b>  | <b>4</b>  |
| <b>3. DOCUMENTS FOURNIS PAR LE DEMANDEUR</b>   | <b>5</b>  |
| <b>4. DESCRIPTION ET DOMAINE D'EMPLOI DU PROCÉDÉ</b>   | <b>5</b>  |
| 4.1. DESCRIPTION DU PROCÉDÉ  | 5         |
| 4.2. DOMAINE D'EMPLOI  | 7         |
| <b>5. ANALYSE ET JUSTIFICATION</b>   | <b>8</b>  |
| 5.1. RÉSISTANCE AU FEU DES « SYLVA™ CLT Rib »  | 8         |
| 5.1.1. Détermination des actions mécaniques  | 8         |
| 5.1.2. Méthode de calcul de la section efficace  | 8         |
| 5.1.3. Satisfaction des critères d'Étanchéité (E) et d'Isolation (I)                             | 11        |
| 5.1.4. Durée de résistance au feu assurée par « Sylva™ CLT Rib » protégés par un écran thermique | 11        |
| 5.1.5. Résistance au feu assurée par un écran de protection                                      | 12        |
| 5.2. DONNÉES EXPÉRIMENTALES DISPONIBLES  | 13        |
| 5.2.1. Essai de résistance au feu sur la configuration ouverte                                   | 13        |
| 5.2.2. Essai de résistance au feu sur la configuration ouverte protégée par un écran thermique   | 14        |
| 5.2.3. Essai de résistance au feu sur la configuration fermée                                    | 14        |
| 5.2.4. Essai de résistance au feu sur la configuration fermée protégée par un écran thermique    | 15        |
| 5.3. VÉRIFICATION DE PROFONDEURS DE CARBONISATION AU SENS DE L'EUROCODE 5 PARTIE 1-2             | 16        |
| 5.4. ANALYSE DU JOINT DE COLLE ENTRE LA MEMBRURE ET LA NERVURE                                   | 18        |
| 5.5. VÉRIFICATION DE LA LONGUEUR EFFICACE DE LA SECTION RÉDUITE                                  | 21        |
| 5.6. DÉTAILS DES JONCTIONS ET POINTS SINGULIERS  | 23        |
| 5.6.1. Liaison entre « Sylva™ CLT Rib »  | 23        |
| 5.6.2. Appuis des « Sylva™ CLT Rib »   | 27        |
| 5.6.3. Détails constructifs  | 31        |
| 5.7. PROTECTION DES « SYLVA™ CLT Rib » CONTRE LE FEU   | 35        |
| 5.8. PROTECTION DES ASSEMBLAGES  | 36        |
| 5.9. OUVERTURES HORIZONTALES DANS LES NERVURES   | 37        |
| <b>6. CONCLUSION</b>   | <b>37</b> |
| <b>7. VALIDITÉ</b>   | <b>37</b> |

## 1. OBJET

L'objet de cette Appréciation de laboratoire destinée à un Avis Technique (ATec) ou un Document Technique d'Application (DTA) au sens de l'article 18 de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié le 14 mars 2011 du Ministère de l'intérieur est d'estimer le degré de résistance au feu des caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » développés par la société STORA ENSO.

L'aptitude à l'usage du procédé visé dans le présent document doit faire l'objet d'une évaluation technique favorable. À ce titre, le domaine d'emploi est limité au plus restrictif entre celui défini dans le paragraphe 4.2 du présent document et celui défini dans l'évaluation technique.

L'appréciation de laboratoire formule un avis sur la méthode de dimensionnement au feu des caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » selon les principes de l'Eurocode 5 partie 1-2. Les sections résistantes au feu calculées selon la méthode des sections résiduelles sont vérifiées avec les données expérimentales fournies par STORA ENSO.

L'étude est établie sur la base du dossier présenté par le demandeur.

## 2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCES

- [1] **Arrêté du 22 mars 2000** – modifié par l'arrêté du 14 mars 2011.
- [2] **NF EN 1990** « Eurocode - Bases de calcul des structures – Amendement » - juillet 2006.
- [3] **NF EN 1991-1-1** « Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments » - mars 2003.
- [4] **NF EN 1991-1-2** – « Eurocode 1 : action sur les structures – Partie 1-2 : action générales – actions sur les structures exposées au feu » - juillet 2013.
- [5] **NF EN 1991-1-2/NA** – « Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-2 : Actions générales - Actions sur les structures exposées au feu - Annexe nationale à la NF EN 1991-1-2 » - février 2007.
- [6] **NF EN 1995-1-1** – « Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments » - novembre 2005.
- [7] **NF EN 1995-1-2** – « Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu » - septembre 2005.
- [8] **NF EN 1995-1-2/NA** – « Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu – Annexe nationale à la NF EN 1995-1-2 » - Avril 2007
- [9] **NF EN 1993-1-2** – « Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu » - Novembre 2005.
- [10] **Fire Safety in Timber Buildings**, Technical guideline for Europe, SP Report 2010:19.
- [11] **NF EN 335** « Durabilité du bois et des matériaux à base de bois - Classes d'emploi : définitions, application au bois massif et aux matériaux à base de bois » - mai 2013.
- [12] **Etude du comportement au feu de parois et planchers constitués de structures bois** – CSTB, décembre 2012.

### 3. DOCUMENTS FOURNIS PAR LE DEMANDEUR

- [13] **Projet Document Technique d'Application 3.1/18-975\_V4 CLT Sylva™ CLT Rib.**
- [14] **Appréciation de Laboratoire AL12-103\_v3, CSTB, juin 2022.**
- [15] **Rapports d'essais de résistance au feu de 4 planchers composés de panneaux CLT100 et CLT150 de STORA ENSO (MD 1.4, MD1.2, MD 2.1, MD3.1), Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA39), Austria 2010**
- [16] **Rapports d'essais de résistance au feu de 4 caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » de STORA ENSO (UFI29-19002767, UFI29-19002767, UFI29-19002771, UFI29-19002770), Eurofins Expert Services Oy, Finlande 2019.**
- [17] **MFPA Leipzig GmbH\_Test report N° PB.3.2/16-135-1, 7 September 2016.**
- [18] **MFPA Leipzig GmbH\_Test report N° PB.3.2/16-135-2, 22 avril 2016.**
- [19] **European Technical Assessment ETA-10/0389\_Hilti Firestop Acrylic Sealant CFS-S ACR, September 2017.**
- [20] **Rapport d'essai de résistance au cisaillement de 4 caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » de STORA ENSO, VTT Expert Services Ltd, Finlande 2017.**
- [21] **Rapport d'essai de résistance en flexion de 4 caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » de STORA ENSO, VTT Expert Services Ltd, Finlande 2017.**
- [22] **Cross-laminated timber rib panels in fire - Doctoral Thesis - Kleinhenz Miriam (2022).**

## 4. DESCRIPTION ET DOMAINE D'EMPLOI DU PROCÉDÉ

### 4.1. Description du procédé

La présente appréciation de laboratoire porte sur le procédé de planchers de dénomination commerciale « Sylva™ CLT Rib » développé par la société STORA ENSO. Le caisson nervuré « Sylva™ CLT Rib » est un produit composé d'un ou deux voiles en CLT, collés et vissés à des nervures rectangulaires en lamellé-collé.

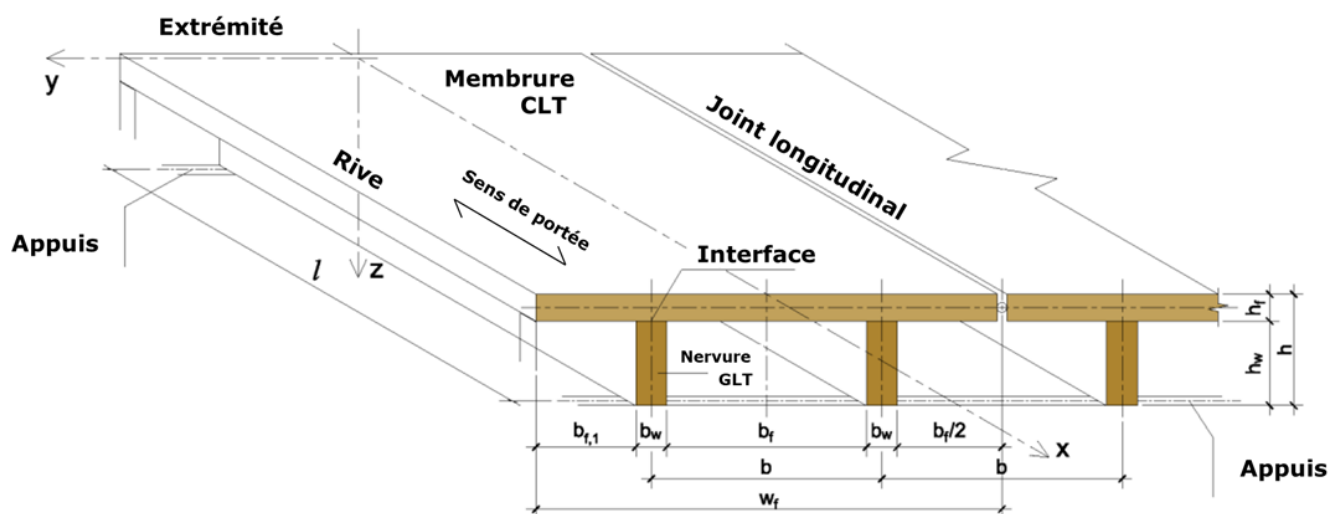


Figure 1: Vue d'ensemble du système Sylva™ CLT Rib

Les caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » sont destinés à la réalisation de planchers et peuvent se présenter suivant trois configurations :

- Le caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec un panneau CLT au-dessus des nervures en lamellé-collé :

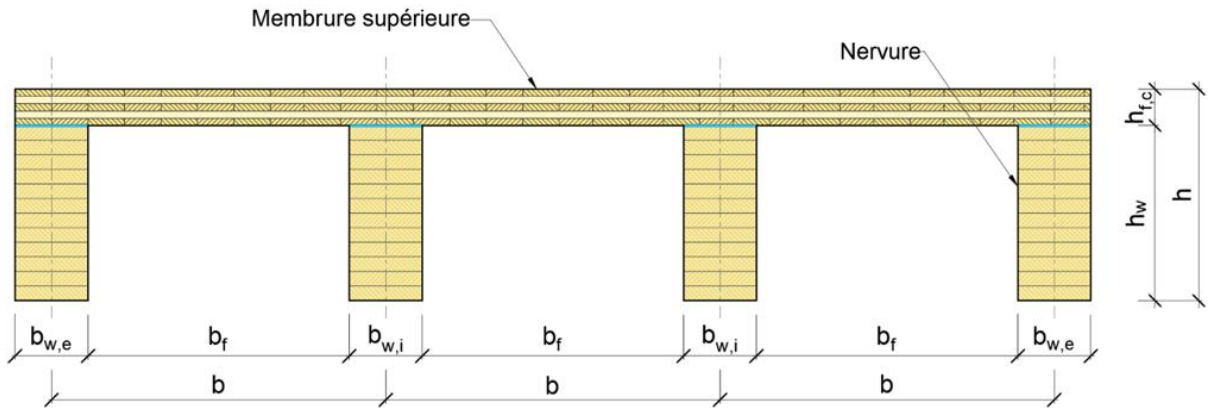


Figure 2: Sylva™ CLT Rib – CLT au-dessus des nervures - Caisson ouvert (Open type)

- Le caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec un panneau CLT en dessous des nervures en lamellé-collé (Figure 3). Dans ce cas, les charges sont appliquées sur la partie supérieure des nervures uniquement. Dans cette configuration, un panneau à base de bois conforme au NF DTU 51.3 peut être mis en œuvre en partie supérieure du plancher pour reprendre les complexes de revêtements de sol :

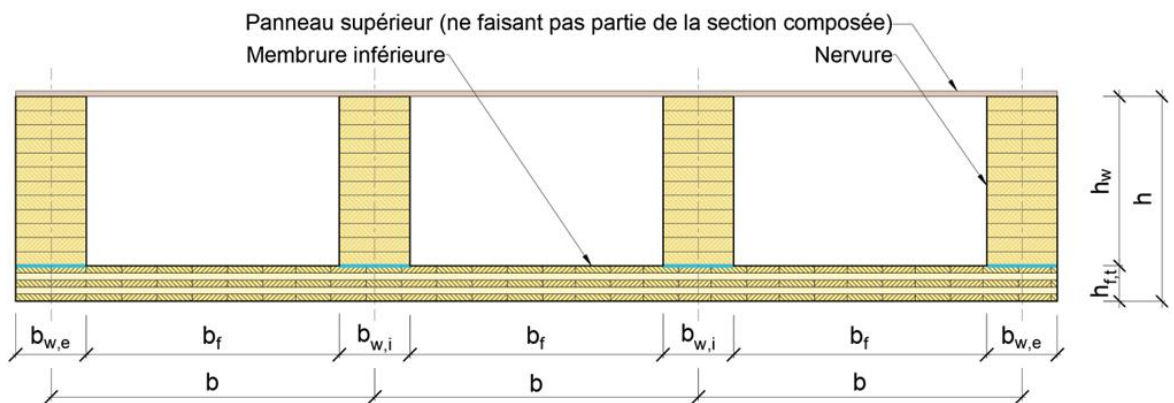


Figure 3: Sylva™ CLT Rib – CLT au-dessous des nervures - Caisson inversé (Inverted type)

- Le caisson nervuré Sylva™ CLT Rib composé de deux panneaux CLT posés en dessous et au-dessus des nervures (Figure 4) :

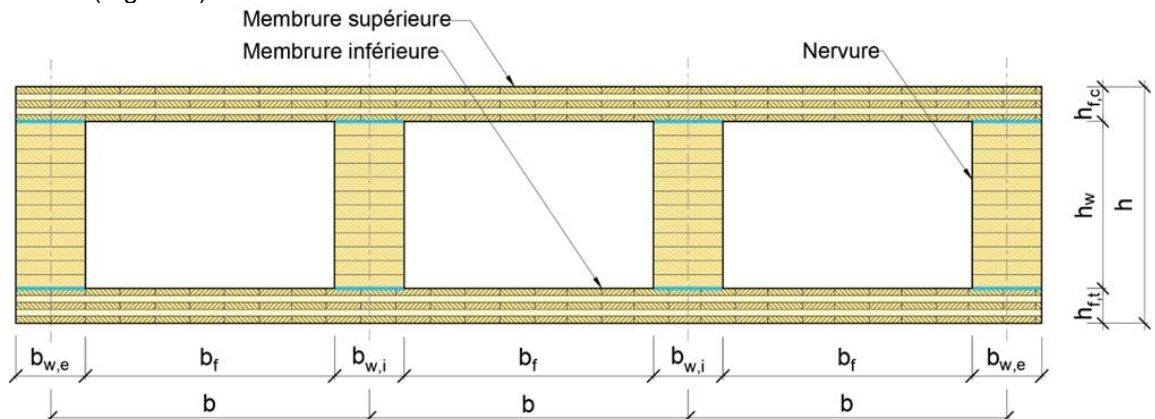


Figure 4: Sylva™ CLT Rib - CLT au-dessus et au-dessous des nervures - Caisson fermé (Closed type)

Les caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » se caractérisent par une portée typique comprise entre 5 m et 16 m, une largeur maximale pouvant atteindre 3,5 m, et peuvent compter jusqu'à six nervures. Les membrures en CLT sont fabriquées à partir de 3 ou 5 couches croisées en bois massif (épicéa, sapin ou pin) de classe C16, C24 ou C30, avec une épaisseur totale comprise entre 60 mm et 200 mm. Quant aux nervures, elles sont fabriquées à partir de bois lamellé-collé de classe GL20h à GL32h, ou de GL20c à GL32c. Les nervures présentent une hauteur minimale égale à 100 mm et une largeur minimale égale à 60 mm. L'entraxe entre les nervures est variable, selon la largeur des panneaux.

L'assemblage au niveau de l'interface nervure/panneau CLT est assuré par un joint de colle structural réalisé en usine. La pression de collage est réalisée en usine par organes métalliques dédiés ou sous presse (hydraulique ou mécanique) assurant une pression suffisante.

La colle utilisée à l'interface nervure/panneau CLT est une résine polyuréthane monocomposant 1K-PUR de la société PURBOND. La colle utilisée pour l'aboutage des planchers est une résine polyuréthane Purbond HB S079. La colle utilisée pour l'assemblage des planches sur leurs chants est un système de collage de type résine/durcisseur EPI 192/1993 de la société Casco Adhesives. La colle employée pour l'assemblage des plis entre eux est une résine polyuréthane Purbond HB S109.

Toutes les colles utilisées dans les « Sylva™ CLT Rib » sont sans formaldéhyde et sont conformes aux normes NF EN 301, NF EN 302 et NF EN 15425.

Les cavités formées entre les membrures des « Sylva™ CLT Rib » peuvent contenir de l'isolant thermique et acoustique. Par ailleurs, les « Sylva™ CLT Rib » peuvent être associés à des protections passives de type plaques de plâtre selon NF EN 520 ou similaire.

## **4.2. Domaine d'emploi**

Les « Sylva™ CLT Rib » sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure de classe de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 [6], et en classe d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335 [11], à savoir, les bâtiments industriels, les bâtiments d'habitation de la 1<sup>ère</sup> à la 4<sup>ème</sup> famille, les bureaux, les Etablissements Recevant du Publique de catégorie de 1 à 5 et les constructions neuves.

Le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3, C4, C5, D1, D2 et E1 au sens de la norme NF EN 1991-1-1 [3].

Quelle que soit l'utilisation des « Sylva™ CLT Rib », ils doivent satisfaire les exigences réglementaires relatives à la résistance et à la réaction au feu, propres au bâtiment où ces panneaux sont mis en œuvre.

La colle à l'interface panneau CLT/nervure est limitée à une résine polyuréthane mono composant 1K-PUR conforme à la norme EN 15425. Cette colle pourrait être remplacée par une colle en MUF conforme à la norme NF EN 301, à condition que les exigences précisées au paragraphe 6 soient démontrées.

## 5. ANALYSE ET JUSTIFICATION

### 5.1. Résistance au feu des « Sylva™ CLT Rib »

Ce paragraphe explique la méthode retenue pour la détermination de la durée de résistance au feu des « Sylva™ CLT Rib ». Cette méthode est basée sur la norme NF EN 1995-1-2 [7] et le guide « *Fire Safety in Timber Buildings* » [10].

#### 5.1.1. Détermination des actions mécaniques

La durée de résistance au feu (stabilité au feu) des « Sylva™ CLT Rib », objet de cette étude, sera appréciée conformément aux règles de l'EN 1995-1-1 [6] et EN 1995-1-2 [7]. Les actions mécaniques prises en compte pour la justification de la résistance de ces éléments seront celles définies selon des combinaisons des charges en situation d'incendie exigées par les Eurocodes (NF EN 1990 [2], NF EN 1991-1-2 [4] et NF EN 1991-1-2/NA [5]).

#### 5.1.2. Méthode de calcul de la section efficace

Les calculs de dimensionnement des « Sylva™ CLT Rib » seront réalisés conformément aux principes de l'EN 1995-1-1 [6] en prenant en compte la section réduite de ces éléments de construction calculée comme expliqué ci-après.

La résistance d'un « Sylva™ CLT Rib » est déterminée à partir de la résistance résiduelle du plancher intégrant les lames longitudinales du panneau et celles des nervures non affectées par le feu (Figure 5).

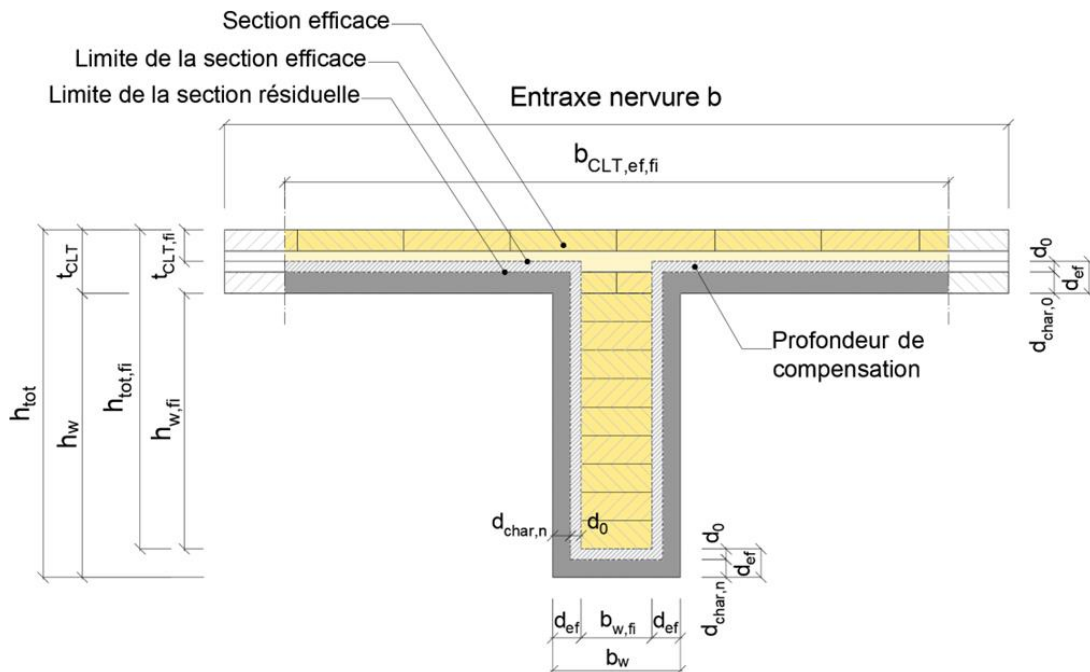


Figure 5 : Représentation de la section efficace selon les principes de l'EN 1995-1-1 [6]

La première étape consiste à déterminer l'épaisseur de bois affectée par le feu  $d_{ef}$ . L'épaisseur structurelle restante  $h_{ef}$  pourra en être déduite et utilisée pour le calcul de la résistance après un temps  $t$  d'exposition à la courbe normalisée. Cependant, pour les panneaux en CLT, si l'épaisseur résiduelle d'un pli est inférieure à 3 mm alors la contribution du pli ne doit pas être prise en compte.



Suivant la méthode simplifiée proposée par le guide *Fire Safety in Timber Buildings* [10], l'épaisseur affectée par le feu  $d_{ef}$  est égale à la profondeur de carbonisation  $d_{char}$  augmentée d'une profondeur  $d_0$  qui correspond à une couche non prise en compte pour compenser la réduction des caractéristiques mécaniques derrière la profondeur de carbonisation :  $d_{ef} = d_{char} + d_0$

Dans l'expression ci-dessus,  $d_{char}$  est la profondeur de carbonisation, déterminée à partir de la vitesse de combustion (§5.1.2.1), et  $d_0$  est la profondeur de compensation (§5.1.2.2).

#### 5.1.2.1. Vitesse de combustion

La vitesse de combustion est déterminée par le rapport entre la profondeur de carbonisation  $d_{char}$  et la durée à laquelle cette profondeur a été atteinte.

##### **Vitesse de combustion du premier pli $\beta_0$**

Il est d'usage de considérer que la combustion du premier pli a lieu de manière similaire à ce qui se passe dans une pièce massive. Dans le cas des CLT, il est normal de parler de la vitesse de combustion unidimensionnelle notée  $\beta_0$ . La vitesse de combustion du premier pli d'un plancher ou d'une paroi testée au feu, est déterminée en prenant en compte l'instant auquel la température de l'interface entre le premier et le deuxième pli atteint 300°C.

Pour les panneaux en CLT disposés horizontalement, on considère une vitesse de combustion de 0,65 mm/min, pour un espacement entre les planches inférieur à 2 mm, conformément aux résultats de l'essai au feu [15] et l'appréciation de laboratoire AL12-103\_v3 [14] relative aux panneaux CLT de STORA ENSO.

Dans le cas où l'espacement entre planches est compris entre 2 mm et 6 mm [10], la vitesse de combustion des panneaux CLT doit être majorée de 20% soit respectivement 0,78 mm/min.

Ainsi, suivant l'espacement entre planches, noté "e", on considère dans la suite que :

- $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$  si  $e \leq 2 \text{ mm}$   
 $\beta_0 = 0,78 \text{ mm/min}$  si  $2 < e \leq 6 \text{ mm}$  Pour les panneaux en CLT.

Pour les nervures en lamellé-collé, on considère une vitesse de combustion de  $\beta_n = 0,7$  mm/min, conformément à la norme NF EN 1995-1-2 [7].

##### **Vitesse de combustion des plis suivants**

Si le premier pli chute brutalement après avoir été carbonisé (phénomène de délamination), le pli suivant reçoit un flux thermique très élevé de manière brutale. Par conséquent, la vitesse moyenne de la combustion de cette couche est bien plus élevée que celle de la première couche. Ceci a été observé plusieurs fois expérimentalement pour des parois et des planchers constitués de CLT provenant de différents fabricants. Le même phénomène a été observé expérimentalement pour des parois et des planchers bois protégés par des parements de protection (plaque de plâtre par exemple). Le rôle de la protection sur la vitesse de la combustion de l'élément bois protégé, comparé avec un élément non protégé, est clairement expliqué dans la NF EN 1995-1-2 [7].

Par ailleurs, concernant les CLT, suivant la nature de la colle utilisée pour l'assemblage des plis et son comportement en fonction de la température, la chute du pli carbonisé sera plus ou moins rapide. C'est pour ces raisons que, pour les « Sylva™ CLT Rib », on suppose que de manière continue après la carbonisation complète d'une couche "n", celle-ci chute et la couche "n+1" se carbonise quasiment deux fois plus vite que la vitesse normale (ou initiale), tel que l'explique l'Eurocode 5 partie 1-2 [7].

Ceci a été observé lors de quelques essais de résistance au feu effectués pour des parois et des planchers de type CLT similaires à ceux qui font l'objet de cette appréciation de laboratoire.

Pour les panneaux en CLT pour lesquels on dispose de données expérimentales, on a mesuré une vitesse de l'ordre du double de la vitesse normale [15]. On considère donc pour les « Sylva™ CLT Rib » que la vitesse à considérer, après la chute du premier pli, est par référence à l'Eurocode 5 partie 1-2 [7] :

$$\begin{cases} \beta_1 = 2 \cdot \beta_0 & \text{sur une profondeur de 25 mm du pli } i, \quad i > 1 \\ \beta_0 & \text{au delà de 25 mm de profondeur} \end{cases}$$

#### 5.1.2.2. Profondeur de compensation $d_0$

Afin de prendre en compte la perte de résistance de l'élément affecté par l'incendie, au-delà de l'épaisseur carbonisée (profondeur de compensation  $d_0$ ), la norme NF EN 1995-1-2 [7] propose de prendre en compte une épaisseur  $d_0 = 7$  mm. Plusieurs études et expériences montrent que cette épaisseur est plus importante que 7 mm. Par conséquent, dans le cadre de cette appréciation de laboratoire il a été décidé de calculer cette épaisseur  $d_0$  selon la méthode proposée par le guide *Fire Safety in Timber Buildings* [10]. Dans ce document, la profondeur de compensation dépend de différents paramètres :

- Utilisation en murs ou planchers, pour différencier le comportement en compression et en flexion ;
- Face exposée tendue ou comprimée, la diminution des caractéristiques mécaniques en fonction de la température étant différente en compression et en traction ;
- Le nombre de plis du CLT étudié, pour prendre en compte l'influence du champ thermique à l'intérieur de la paroi sur la vitesse de la combustion à l'instant où une couche est complètement carbonisée et désolidarisée du reste de la paroi ;
- L'épaisseur totale  $h$  du CLT étudié.

Le Tableau 1 présente les formules qui permettent de calculer la profondeur de compensation  $d_0$  des panneaux CLT.

Tableau 1 : Profondeur de compensation  $d_0$  pour les « CLT Rib Panels » sans protection

| Exposition | Planchers ( $d_0$ en mm) |                      |
|------------|--------------------------|----------------------|
|            | Face tendue              | Face comprimée       |
| 3 plis     | $\frac{h}{30} + 3,7$     | $\frac{h}{25} + 4,5$ |
| 5 plis     | $\frac{h}{100} + 10$     | $\frac{h}{20} + 11$  |

\* : La valeur préconisée par le guide est modifiée dans la présente appréciation de laboratoire pour limiter la distance  $d_0$  à 30 mm. Cette modification s'appuie sur le retour d'expérience du laboratoire.

Remarque : on limitera à 30 mm la distance  $d_0$  dans tous les cas de figures.

Pour les nervures, la profondeur de compensation à considérer est celle fournie par le Draft de l'Eurocode 5 partie 1-2 en cours d'instruction et de validation, soit  $d_0 = 10$  mm pour les éléments en lamellé-collé tendue ou en flexion.

### 5.1.3. Satisfaction des critères d'Étanchéité (E) et d'Isolation (I)

Concernant le respect des critères d'intégrité (E) et d'isolation (I) :

- Le caractère « E » vérifie l'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds sur la face opposée au feu,
- Le critère « I » vérifie l'augmentation de la température sur la face opposée au feu (l'augmentation de la température moyenne sur la totalité de la surface non exposée au feu ne doit pas dépasser 140°C et l'augmentation maximale ponctuellement de la surface non exposée ne doit pas excéder 180°C).

Pour les planchers en bois massif, si le critère de résistance (R) est vérifié, les critères d'intégrité (E) et d'isolation (I) sont généralement vérifiés.

Dans le cas où les planches d'une couche (plis) ne sont pas collées chant à chant, les joints entre deux planches d'un même pli peuvent atteindre 4 mm. Dans ce cas, pour que les critères E et I soient satisfaits, il faut que l'épaisseur restante du panneau soumis au feu soit composée d'au moins d'une couche porteuse complète et de la demi-épaisseur de la couche non porteuse qui la précède. Pour les couches non-porteuses d'épaisseurs supérieures à 20 mm, l'épaisseur minimale non affectée par le feu doit être de l'ordre de 10 mm.

Cette exigence doit être prise en compte pendant la phase de dimensionnement des planchers.

### 5.1.4. Durée de résistance au feu assurée par « Sylva™ CLT Rib » protégés par un écran thermique

Les « Sylva™ CLT Rib » peuvent être protégés par des plaques de plâtre de type A ou F, conformes à la norme NF EN 520. Les plaques de plâtre doivent être fixées par des vis, d'une longueur égale à l'épaisseur du ou des plaques de plâtres assemblées, augmentées d'au moins 15 mm dans les ossatures bois, et d'un espacement maximal de 300 mm, conformément aux recommandations de la norme NF EN 520 et de l'étude réalisée par le CSTB sur le comportement au feu des parois et des planchers constitués de structures bois [12]. La durée à considérer avant la chute de la protection,  $t_r$ , ainsi que la durée avant démarrage de la combustion derrière la protection,  $t_{ch}$ , est déterminée par défaut à partir des valeurs du guide [10] (Tableau 3 et Tableau 4). Dans cette configuration, avant la chute de la protection, deux situations sont à distinguer :

- 1) L'échauffement du panneau CLT derrière la protection est faible et ne conduit pas à une réduction de la résistance,
- 2) La combustion derrière la protection démarre à partir du temps  $t_{ch}$ , avant la chute de la protection qui a lieu, quant à elle, à  $t_r$ . On considère dans ce cas une vitesse de combustion réduite pour  $t_{ch} < t < t_r$ .

**Après la chute de la protection, la vitesse de combustion à considérer est égale à  $\beta_1$ , comme dans le cas d'un panneau sans protection après la chute du premier pli.**

C'est-à-dire, dans notre cas, si la première couche est protégée par un produit et que la combustion du panneau commence avant la chute du produit de protection, par exemple plaque de plâtre spécial feu (type F), la vitesse de combustion du panneau est estimée à 0,35 mm/min jusqu'au moment de la chute de la plaque de plâtre. Ensuite la vitesse de combustion sera  $\beta_0=1,3$  mm/min. Elle chutera à 0,65 mm/min dès que la profondeur de la combustion atteint l'épaisseur de 25 mm, ou elle continuera à 1,3 mm/min si les épaisseurs des couches successives des panneaux CLT sont inférieures à 25 mm [14].

La profondeur de compensation  $d_0$  doit être calculée à l'aide des formules du Tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Profondeur de compensation  $d_0$  pour les « Sylva™ CLT Rib » avec protection

| Exposition | Planchers ( $d_0$ en mm)   |  |
|------------|--|--|
|            | Face tendue  | Face comprimée                               |
| 3 plis     | 10   | $\min\left(\frac{h}{12,5} + 7 ; 13,5\right)$ |
| 5 plis     | Pour $75 \leq h \leq 100 \text{ mm}$ : $-\frac{h}{4} + 34$<br>Pour $h > 100 \text{ mm}$ : $\frac{h}{35} + 6$ | 18   |

\* : La valeur préconisée par le guide est modifiée dans la présente appréciation de laboratoire pour limiter la distance  $d_0$  à 30 mm. La recommandation du guide qui consiste à utiliser les mêmes valeurs que pour un panneau non protégé est reconduite ici.

Remarque : on limitera à 30 mm la distance  $d_0$  dans tous les cas de figures.

### 5.1.5. Résistance au feu assurée par un écran de protection

Dans les tableaux suivants, la résistance au feu est assurée uniquement par l'écran de protection et le degré de résistance ne dépend que des caractéristiques de cette protection. L'épaisseur totale de protection est notée  $h_p$  dans les Tableau 3 et Tableau 4.

Tableau 3 : Temps de démarrage de la combustion derrière une protection en plaque de plâtre.

| Protection plaque de plâtre       | Planchers (tch en minutes)   |
|-----------------------------------|--|
| 1 type A-F                        | $1,8 h_p - 7$ pour $9 \text{ mm} \leq h_p \leq 18 \text{ mm}$<br>$25,5$ pour $h_p > 18 \text{ mm}$   |
| 2 type F, ou<br>1 type F+1 type A | $\min(2,1 h_{p,tot} - 7 ; 4 h_p - 14)$<br>pour $\begin{cases} 25 \text{ mm} \leq h_{p,tot} \leq 31 \text{ mm} \\ 9 \text{ mm} \leq h_p \leq 18 \text{ mm} \end{cases}$   |
| 2 types A                         | $\min(2,1 h_{p,tot} - 7 ; 1,6 h_p + 11)$<br>pour $\begin{cases} 18 \text{ mm} \leq h_{p,tot} \leq 31 \text{ mm} \\ 9 \text{ mm} \leq h_p \leq 18 \text{ mm} \end{cases}$<br>si les plaques de parement en plâtres font l'objet d'une certification NF selon le référentiel NF081. Le cas contraire, limiter REI à 15 min pour la configuration 2 plaques de BA13 de type A |

Tableau 4 : Temps de chute de la protection en plaque de plâtre

| Protection plaque de plâtre        | Planchers (tf en minutes)   |
|------------------------------------|---|
| 1 type F                           | $h_p + 10$ pour $12,5 \text{ mm} \leq h_p \leq 16 \text{ mm}$<br>$26$ pour $h_p > 16 \text{ mm}$                  |
| 2 type F                           | $2 h_{p,tot} - 3$ pour $25 \text{ mm} \leq h_{p,tot} \leq 31 \text{ mm}$<br>$59$ pour $h_{p,tot} > 31 \text{ mm}$ |
| 1 type F (ext) + 1<br>type A (int) | $50$ pour $h_{p,type F} \geq 15 \text{ mm}$   |
| 1 type A                           | $1,8 h_p - 7$ pour $12,5 \text{ mm} \leq h_p \leq 15 \text{ mm}$<br>$20$ pour $h_p > 15 \text{ mm}$               |

*Remarque* : lorsque la chute de la protection intervient avant le démarrage de la combustion précisée au Tableau 3, il faut alors considérer que le temps de démarrage de la combustion est identique à celui de la chute de la protection.

## 5.2. Données expérimentales disponibles

Le laboratoire finlandais Eurofins a réalisé des essais de résistance au feu sur les caissons nervurés « Sylva™ CLT Rib » en 2019. Quatre configurations différentes ont été testées (Figure 6). Les classements de résistance sont donnés dans le Tableau 5 (page 15).

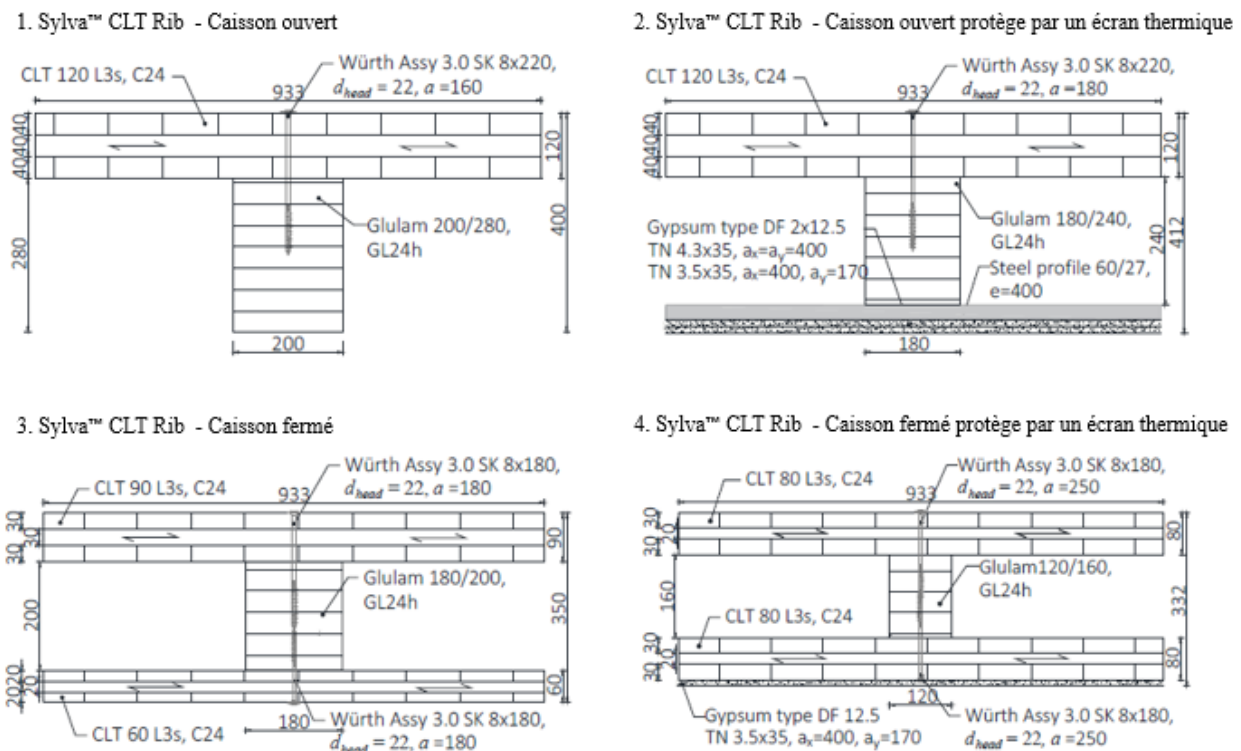


Figure 6 : Configurations « Sylva™ CLT Rib » de STORA ENSO testées au feu

### 5.2.1. Essai de résistance au feu sur la configuration ouverte

L'essai a été réalisé sur un corps d'épreuve de dimensions 5300 mm x 3000 mm x 400 mm (L x l x h), composé de deux modules adjacents. Chaque module du plancher « Sylva™ CLT Rib » est composé d'une membrure supérieure en CLT 120 L3s et de nervures en lamellé-collé de classe GL24h, de section 200 mm x 280 mm (b x h), avec un entraxe de 933 mm. L'ensemble des éléments a été assemblé par collage structural et vissage Ø8 x 200 au pas moyen de 160 mm.

L'assemblage entre module du plancher a été réalisé par feuillure de 77 mm de large et vissage au pas moyen de 250 mm. Les vis Ø6 x 100 sont disposées au centre du joint entre modules et les jeux sont comblés par le joint coupe-feu acrylique CFS-S ACR de chez Hilti.

Le corps d'épreuve a été sollicité mécaniquement par une charge totale uniformément répartie de 13.75 kN/m<sup>2</sup> (poids propre inclus). Les conditions d'échauffement, de pression et l'atmosphère du four étaient conformes à celles données dans la norme EN 1363-1.

L'essai a été arrêté à **91 minutes** à la suite du dépassement de la vitesse limite de contraction verticale au centre du plancher à 89 minutes. Le corps d'épreuve a été retiré du four et éteint après environ 25 minutes.

### **5.2.2. Essai de résistance au feu sur la configuration ouverte protégée par un écran thermique**

L'essai a été réalisé sur un corps d'épreuve de dimensions 5300 mm x 3000 mm x 360 mm (L x l x h), composé de deux modules adjacents. Chaque module est composé d'une membrure supérieure en CLT 120 L3s et de nervures en lamellé-collé de classe GL24h, de section 180 mm x 240 mm (b x h), avec un entraxe de 933 mm. L'ensemble des éléments a été assemblé par collage structural et vissage Ø8 x 220 au pas moyen de 180 mm.

L'assemblage entre module du plancher est réalisé par feuillure de 77 mm de large et vissage au pas moyen de 250 mm. Les vis Ø6 x 100 sont disposées au centre du joint entre modules et les jeux sont comblés par le joint coupe-feu acrylique CFS-S ACR de chez Hilti.

L'ossature métallique est fixée sous les nervures, les profils sont positionnés perpendiculairement aux nervures au pas de 400 mm. L'écran thermique est composé d'une double peau de plaques de plâtre type F de 12.5 mm d'épaisseur, fixé sur l'ossature par des vis TN 3.5 x 25 avec un pas de 400 mm pour la première peau montée, et par des vis TN 3.5 x 35 au pas de 170 mm pour la deuxième peau montée. Les joints sont traités avec un enduit de finition.

Le corps d'épreuve a été sollicité mécaniquement par une charge totale uniformément répartie de 14.44 kN/m<sup>2</sup> (poids propre inclus). Les conditions d'échauffement, de pression et l'atmosphère du four étaient conformes à celles données dans la norme EN 1363-1.

L'essai de résistance au feu a permis d'observer la chute des éléments de la première peau de plaques de plâtre à partir de 30 minutes d'exposition au feu. La chute des éléments de la deuxième peau de plaques de plâtre a commencé à 56 minutes.

L'essai a été arrêté à **119 minutes** suite au dépassement de la vitesse limite de contraction verticale au centre du plancher à 118 minutes. Le corps d'épreuve a été retiré du four et éteint après environ 27 minutes.

### **5.2.3. Essai de résistance au feu sur la configuration fermée**

L'essai a été réalisé sur un corps d'épreuve de dimensions 5300 mm x 3000 mm x 350 mm (L x l x h), composé de deux modules adjacents. Chaque module du plancher est composé d'une membrure supérieure en CLT 90 L3s, d'une membrure inférieure en CLT 60 L3s et de nervures en lamellé-collé de classe GL24h, de section 180 mm x 200 mm (b x h), avec un entraxe de 933 mm. L'ensemble des éléments a été assemblé par collage structural et vissage Ø8 x 180 au pas moyen de 180 mm.

L'assemblage entre modules du plancher est réalisé par feuillure de 77 mm de large et vissage au pas moyen de 250 mm. Les vis Ø6 x 70 sont disposées au centre du joint entre modules et les jeux sont comblés par le joint coupe-feu acrylique CFS-S ACR de chez Hilti.

Le corps d'épreuve a été sollicité mécaniquement par une charge totale uniformément répartie de 14.17 kN/m<sup>2</sup> (poids propre inclus). Les conditions d'échauffement, de pression et l'atmosphère du four étaient conformes à celles données dans la norme EN 1363-1.

L'essai a été arrêté à 114 minutes suite à la perte d'étanchéité à **113 minutes** (inflammation importante au niveau du joint entre module), le corps d'épreuve a été retiré du four et éteint après environ 28 minutes.

**5.2.4. Essai de résistance au feu sur la configuration fermée protégée par un écran thermique**

L'essai a été réalisé sur un corps d'épreuve de dimensions 5300 mm x 3000 mm x 350 mm (L x l x h), composé de deux modules adjacents. Chaque module du plancher est composé d'une membrure supérieure en CLT 80 L3s, d'une membrure inférieure en CLT 80 L3s et de nervures en lamellé-collé de classe GL24h, de section 120 mm x 160 mm (b x h), avec un entraxe de 933 mm. L'ensemble des éléments a été assemblé par collage structural et vissage Ø8 x 180 au pas moyen de 250 mm.

L'assemblage entre module du plancher est réalisé par feuillure de 77 mm de large et vissage au pas moyen de 250 mm. Les vis Ø6 x 70 sont disposées au centre du joint entre modules et les jeux sont comblés par le joint coupe-feu acrylique CFS-S ACR de chez Hilti.

L'écran thermique est composé d'une plaque de plâtre type F de 12.5 mm d'épaisseur, fixée sur la membrure inférieure par des vis TN 35 (maille de 400 mm x 170 mm). Les joints sont traités avec un enduit de finition.

Le corps d'épreuve a été sollicité mécaniquement par une charge totale uniformément répartie de 14.23 kN/m<sup>2</sup> (poids propre inclus). Les conditions d'échauffement, de pression et l'atmosphère du four étaient conformes à celles données dans la norme EN 1363-1.

L'essai de résistance au feu a permis d'observer que la chute des éléments de plaque de plâtre survient à partir d'environ 19 minutes et jusqu'à 45 minutes d'exposition au feu.

L'essai a été arrêté à 120 minutes suite au dépassement de la vitesse limite de contraction verticale au centre du plancher à **115 minutes**. Le corps d'épreuve a été retiré du four et éteint après environ 23 minutes.

Tableau 5 – Classement de résistance au feu.

| Num. essai | Membrure supérieure     | Nervure (b x h ) (mm)       | Membrure inférieure    | Protection côté feu | Moment maximal kNm/ml | Reference PV Laboratoire agréé | Classement |
|------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|------------|
| 1          | CLT 120 L3s<br>40-40-40 | 200 x 280<br>entraxe 933 mm | non                    | non                 | 46,47                 | EUFI29-20000133-T1             | REI90      |
| 2          | CLT 120 L3s<br>40-40-40 | 180 x 240<br>entraxe 933 mm | non                    | 2x12,5 GDF          | 48,80                 | EUFI29-20000133-T2             | REI90      |
| 3          | CLT 90 L3s<br>30-30-30  | 180 x 200<br>entraxe 933 mm | CLT 60 L3s<br>20-20-20 | non                 | 48,64                 | EUFI29-20000133-T4             | REI90      |
| 4          | CLT 80 L3s<br>30-20-30  | 120 x 160<br>entraxe 933 mm | CLT 80 L3s<br>30-20-30 | 1x12,5 GDF          | 48,88                 | EUFI29-20000133-T3             | REI120     |

### 5.3. Vérification de profondeurs de carbonisation au sens de l’Eurocode 5 partie 1-2

Les sections résiduelles après refroidissement des caissons « Sylva™ CLT Rib » testés au feu sont montrées dans la Figure 7. Pour vérifier expérimentalement l’avancement des profondeurs de carbonisation, on se base sur les températures mesurées par les thermocouples pendant les essais avec le critère de 300 °C donné dans l’Eurocode 5 partie 1-2. Afin de ne biaiser les estimations par le décalage entre l’arrêt de l’essai et l’instant de mesure de la section résiduelle, on ajoute 20 minutes au temps d’exposition au feu.

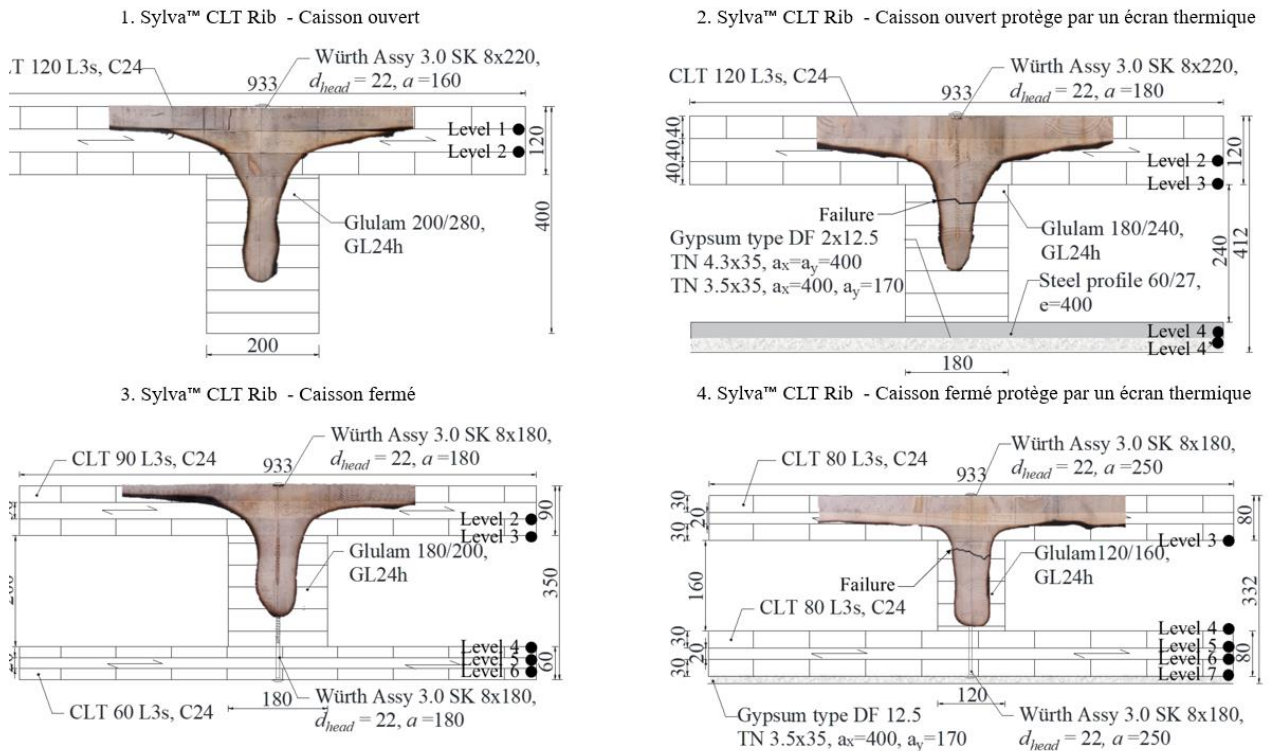


Figure 7 : Section résiduelle après refroidissements des configurations testées au feu

Les Figures 8 à 11 montrent en bleu la profondeur de la couche de carbonatation en fonction du temps en accord avec la méthode de calcul définie par l’Eurocode 5 partie 1-2 et selon les spécifications des paragraphes 5.1 et 5.2 pour les membrures en CLT (droite) et les nervures en GL (gauche). Par ailleurs, la propagation du front de carbonatation, calculé directement à partir des valeurs de température, est repéré en orange. Dans ces figures, le temps d’arrêt d’essai est marqué en rouge.

Pour les quatre essais sur les caissons « Sylva™ CLT Rib », on observe que **les prévisions faites avec la méthode de calcul décrite ci-avant sont sécuritaires pour ce que concerne la propagation de la couche de carbonisation dans la membrure en CLT et au niveau du joint de colle, alors que la tendance est inversée pour la face inférieure des nervures en GL (Figure 8)**. Cette différence peut être dû à une surestimation du temps total d’exposition au feu (temps dans le four + temps avant extinction).



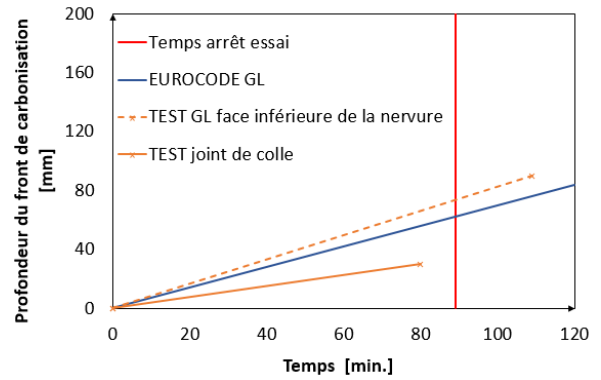
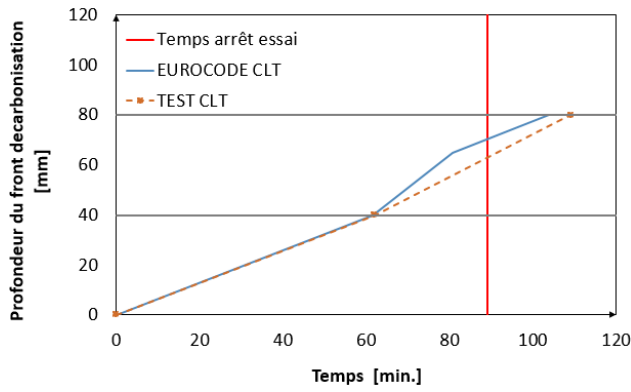


Figure 8 : Propagation de la couche de carbonisation essai 1.

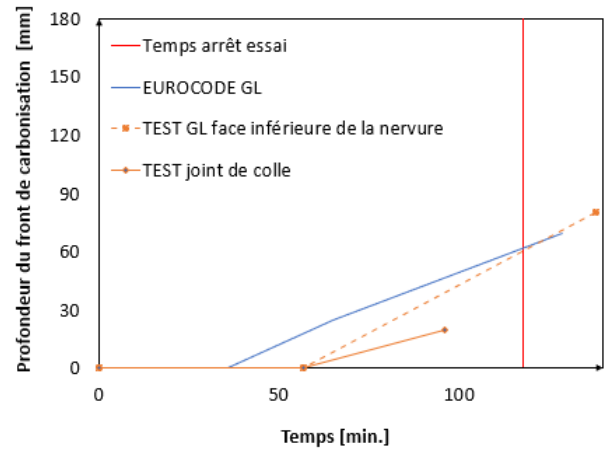
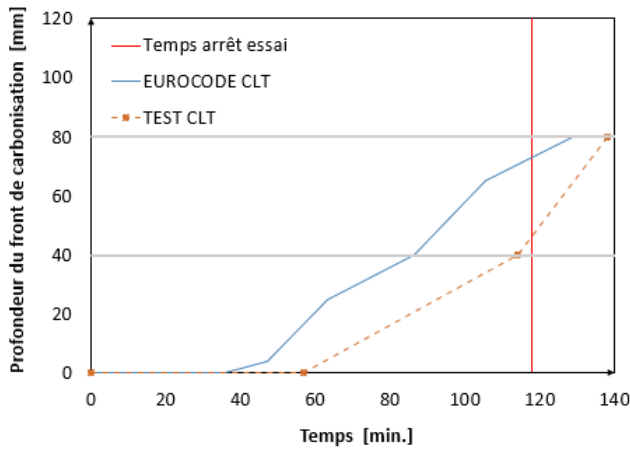


Figure 9 : Propagation de la couche de carbonisation essai 2

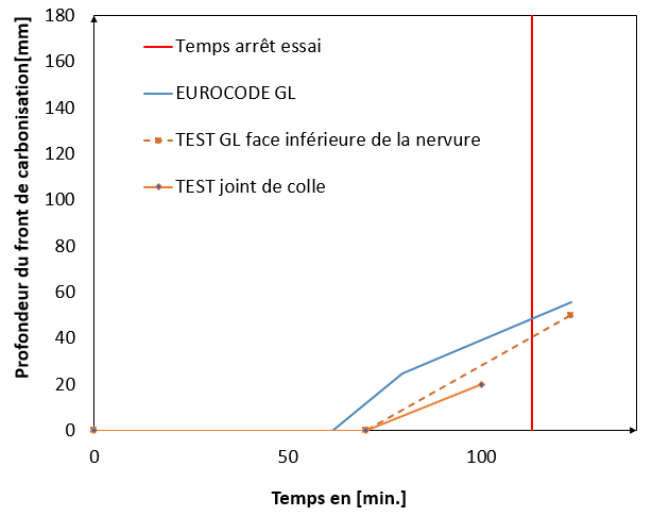
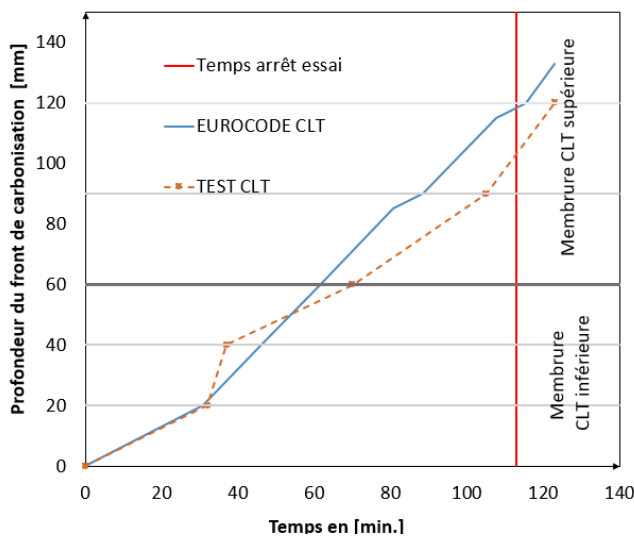


Figure 10 : Propagation de la couche de carbonisation essai 3

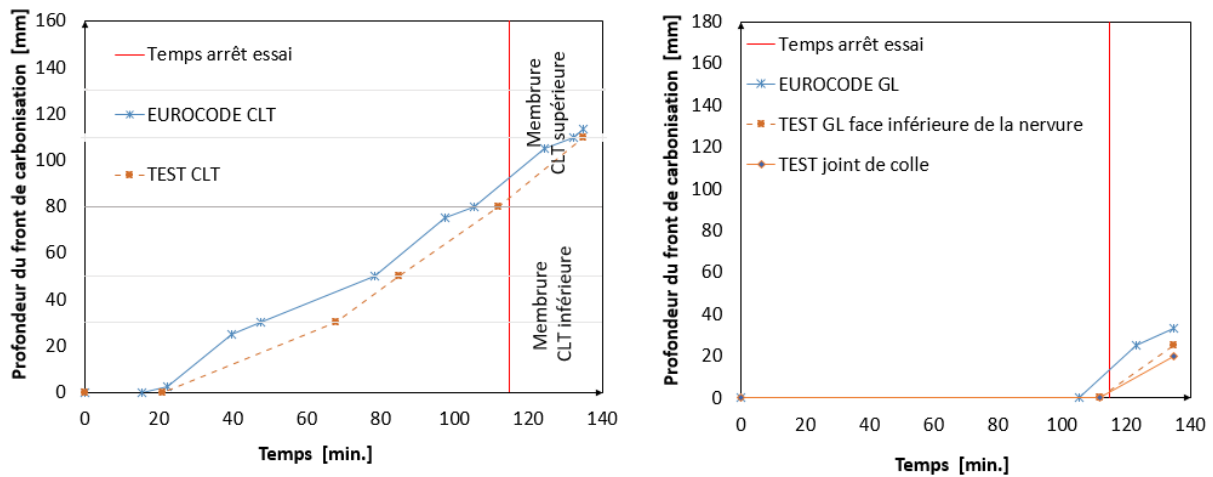


Figure 11 : Propagation de la couche de carbonisation essai 4

#### 5.4. Analyse du joint de colle entre la membrure et la nervure

Ce paragraphe a pour but d'analyser l'état du joint de colle entre la membrure et la nervure des caissons « Sylva™ CLT Rib » pendant la durée d'exposition au feu. A cet effet, les maquettes d'essais décrites aux paragraphes 5.3.1 – 5.3.4 ont été équipées de capteurs de déplacement LVDT mesurant les glissements entre les membrures en CLT et les nervures en GLT durant les essais (Figure 12).



Figure 12 : Mesure du glissement entre les membrures en CLT et les nervures en GLT pendant l'essai au feu 1

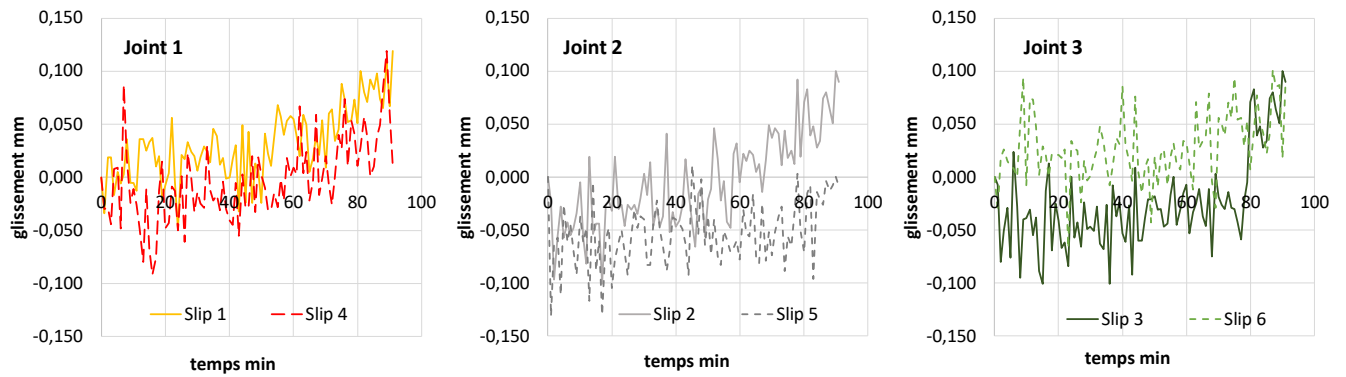


Figure 13 : Glissement aux trois joints de colle entre nervure et CLT pendant l'essai au feu n.1

Les glissements dans l'axe des nervures sont donnés pour l'essai de résistance au feu sur la configuration ouverte (paragraphe 5.2.1) dans la Figure 13. Pendant toute la durée d'exposition aux flammes, les glissements restent inférieurs à 0,1 mm.

Afin de statuer sur les glissements enregistrés lors des essais de résistance au feu, une comparaison est faite avec la caractérisation réalisée à température ambiante sur les caissons, montrée dans les Figure 14 et Figure 15.

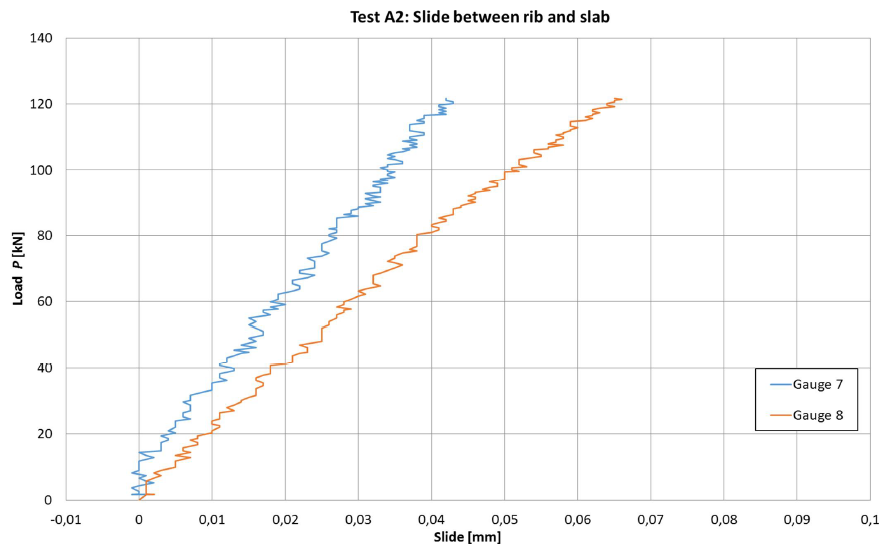


Figure 14 : Glissement aux deux joints de colle entre nervure et CLT pendant l'essai de flexion à froid ( $V_{max} = 128,9 \text{ kN}$ ) [21]

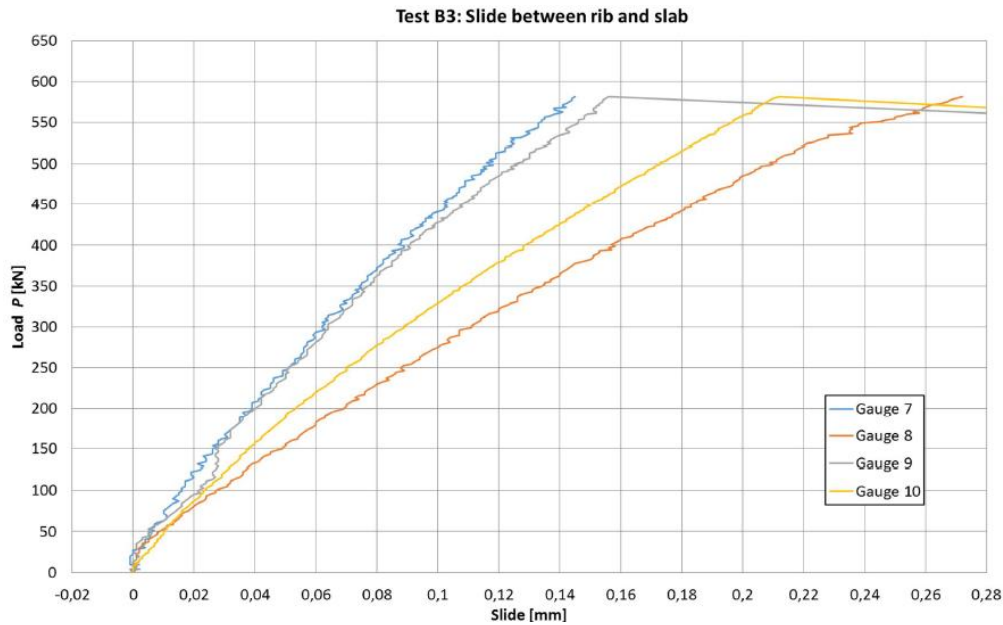


Figure 15 : Glissement aux deux joints de colle entre nervure et CLT pendant l'essai de cisaillement à froid ( $V_{max}=293kN$ ) [20]

Les essais de cisaillement à température ambiante des caissons « Sylva™ CLT Rib » ont montrés que la rupture du joint a lieu pour des glissements supérieurs à 0,14 mm [20]. De plus, même si les résultats des essais de flexion ne sont pas conclusifs, ils montrent que la rupture par flexion survient avec des valeurs de glissement inférieures à 0,07 mm [21].

Nous pouvons donc conclure que **les joints continuent à transférer les efforts pendant toute la durée d'exposition au feu dès lors que la colle n'affiche pas un affaiblissement conséquent de ses caractéristiques mécaniques**. A ce titre, la figure 16 donne l'évolution de la résistance en cisaillement du joint de colle en fonction de la température, ainsi que le pourcentage de rupture dans le bois associé. Il est à noter qu'une température seuil de 140 °C peut être considérée comme température d'inflexion dans le comportement thermo-mécanique. À partir de cette température, on observe un affaiblissement significatif de la résistance et une rupture dans la colle plutôt que dans le bois. À cette température, un affaiblissement de 10% peut être pris en compte.

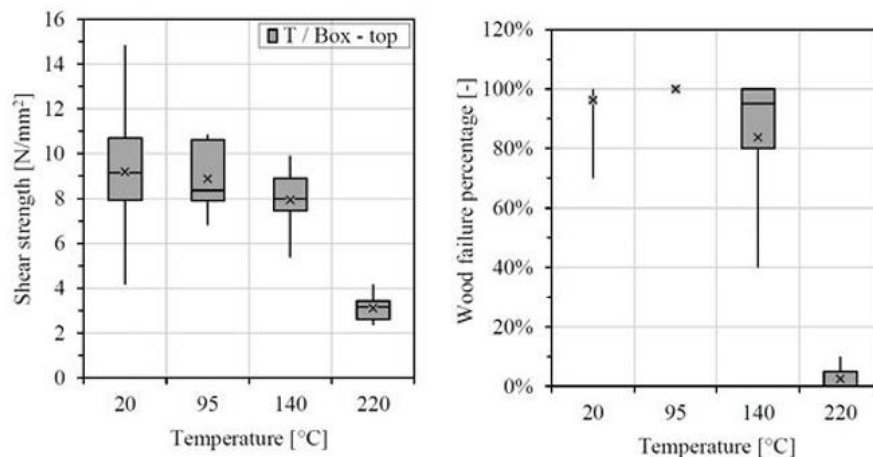


Figure 16 : Résistance au cisaillement du joint de colle en fonction de la température (à gauche) et pourcentage de rupture dans le bois (à droite) [22].

A ce titre, une analyse de la température au niveau des joints de colle entre la membrure CLT et la nervure GL a été faite sur la base des températures enregistrées pendant l'essai au paragraphe 5.2.1, par le biais de thermocouples placés dans les joints à deux distances par rapport aux bords des nervures en GLT, 30 mm et 60 mm.

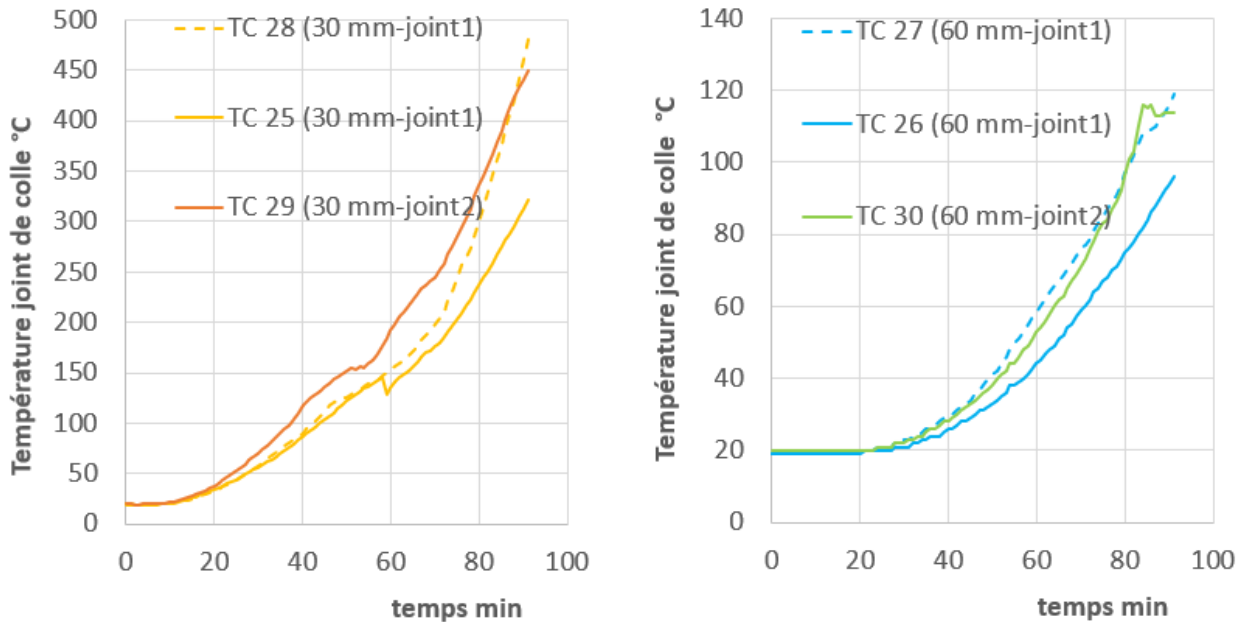


Figure 17 : Températures dans les joints de colle entre nervure et CLT pour divers profondeurs pendant l'essai 1.

Figure 17 montre que, à 30 mm du bords des nervures, la température au niveau des joints de colle reste inférieure à la température seuil pour au moins une durée de 45 minutes. Par ailleurs, à 60 mm du bords des nervures, la température au niveau des joints de colle reste inférieure à la température seuil pour au moins une durée d'exposition de 90 minutes.

Compte tenu du fait que :

- la valeur de calcul (au sens de l'Eurocode 5 partie 1-2) de la profondeur du front de carbonisation au niveau du joint de colle est égale à la profondeur du front de carbonisation de la nervure en GL ;
- la profondeur du front de carbonisation de la nervure en GL mesure 63 mm à 90 minutes,

**nous pouvons conclure que la colle n'affiche pas un affaiblissement de ses caractéristiques mécaniques tout au long du joint membrure – nervure de la section efficace.**

### 5.5. Vérification de la longueur efficace de la section réduite

Ce paragraphe a pour but de donner la procédure de calcul de la longueur efficace de la section réduite en fonction de la durée d'exposition au feu.

En effet, dans une étude de l'ETH Zurich dédiée au procédé « Sylva™ CLT Rib » [22], il a été démontré à l'aide de simulations numériques que la longueur efficace  $b_{CLT,ef,fi}$  décroît avec la durée d'exposition au feu. Aussi, l'intensité de sa décroissance varie avec le temps d'exposition selon la géométrie des caissons nervurés et qu'une longueur efficace à chaud égale à  $0,60 \times b_{ef}$  peut être retenue comme valeur enveloppe pour toutes les durées d'exposition.

Compte tenu que, la valeur enveloppe proposée par l'ETH Zurich dérive exclusivement de résultats d'une étude paramétrique purement numérique, **il convient de diviser la longueur efficace à chaud par un coefficient de sécurité égal à 1,2. Cela nous donne  $b_{CLT,ef,fi} = \frac{0,60 \times b_{ef}}{1,2} = 0,5 \times b_{ef}$  pour toutes durées d'exposition au feu.**

Dans la suite, on vérifie que la longueur efficace  $b_{CLT,ef,fi}$  préconisée pour la section efficace donne un dimensionnement au feu sécuritaire en termes de moment de flexion résistant pour le caisson ouvert « Sylva™ CLT Rib » décrit au paragraphe 5.2.1 et une durée d'exposition au feu de 90 minutes.

La largeur efficace  $b_{ef}$  du caisson ouvert « Sylva™ CLT Rib », composé d'une membrure en CLT 120 L3s et des nervures de section 200 mm x 280 mm (b x h) avec un entraxe de 933 mm, mesure 567 mm selon les équations du Draft de l'Eurocode 5 partie 1-1. Il s'ensuit que la longueur efficace en condition d'incendie s'écrit,  $b_{CLT,ef,fi} = 567 \times 0,5 = 284$  mm.

En accord avec la méthode décrite au paragraphe 5.1, la section efficace du caisson à 90 minutes est définie par :

- L'épaisseur efficace de l'élément en CLT  $t_{CLT,fi} = t_{CLT} - d_{char} - d_0 = 120 - 71 - 7,1 = 41,9$  mm
- La hauteur de la nervure  $h_{w,fi} = h_w - d_{char} - d_0 = 280 - 63 - 10 = 207$  mm
- La largeur de la nervure  $b_{w,fi} = b_w - 2x(d_{char} + d_0) = 200 - 2x(63 + 10) = 54$  mm

Il s'ensuit que l'axe neutre de la section efficace se trouve dans la nervure à 3 mm du joint de colle entre membrure et nervure. On peut alors définir le moment de flexion résistant comme suit :

$$M_{y,fi} = \frac{\sigma_{max,d,fi}(EI)_{ef,fi}}{E_i z_{bot,fi}}$$

Avec :

- $z_{bot,fi}$  distance par rapport à l'axe neutre de la fibre extrême
- $E_i$  module d'élasticité de la nervure en GL
- $(EI)_{ef,fi}$  rigidité en flexion de la section efficace
- $\sigma_{max,d,fi}$  valeur de calcul de la contrainte maximale de la nervure en GL

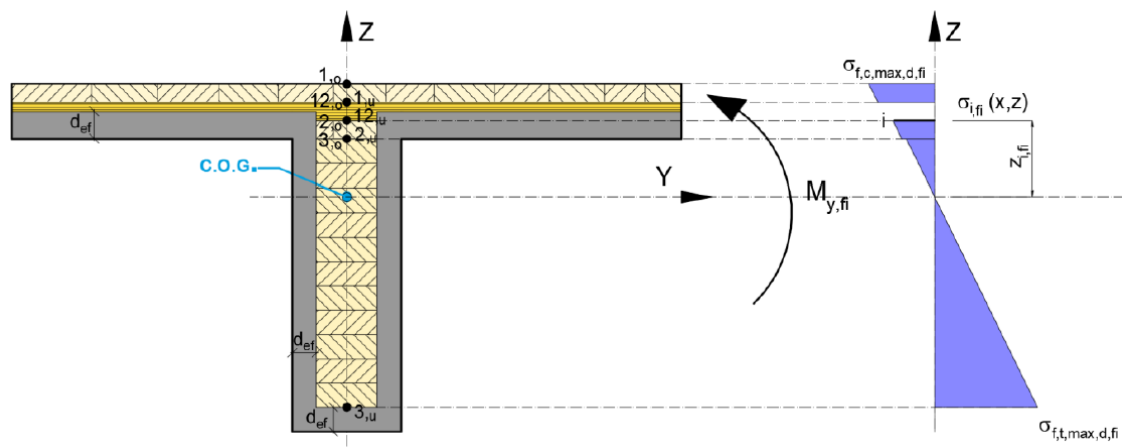


Figure 18 : Section efficace et contraintes de flexion au niveau des fibres extrêmes.

On obtient donc un moment de flexion résistant  $M_{y,fi}$  correspondant à une rupture en traction de la fibre extrême en GL :

$$M_{y,fi} = \frac{30,36(3,22E+12)}{11500*210} = 40,59 \text{ kNm.}$$

Compte tenu que le moment de flexion maximal appliquée sur le caisson pendant toute la durée de l'essai de résistance au feu au paragraphe 5.2.1 est 46,47 kNm (>40,59 kNm), **nous pouvons conclure que pour la configuration testée la valeur retenue  $b_{CLT,ef,fi} = 0,5 \times b_{ef}$  donne un dimensionnement au feu sécuritaire.**

## 5.6. Détails des jonctions et points singuliers

### 5.6.1. Liaison entre « Sylva™ CLT Rib »

Les détails des jonctions entre éléments sont présentés sur les Figures de 19 à 25 et doivent être réalisés par le demandeur tels que décrits dans l'Avis Technique ou le Document Technique d'Application.

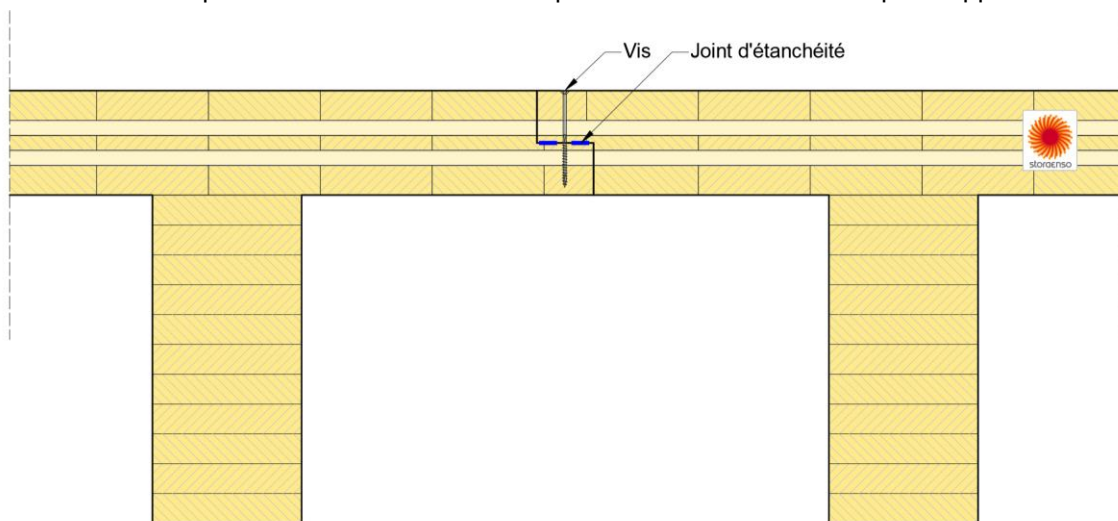


Figure 19 : Assemblage à mi-bois et vissage perpendiculaire - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées

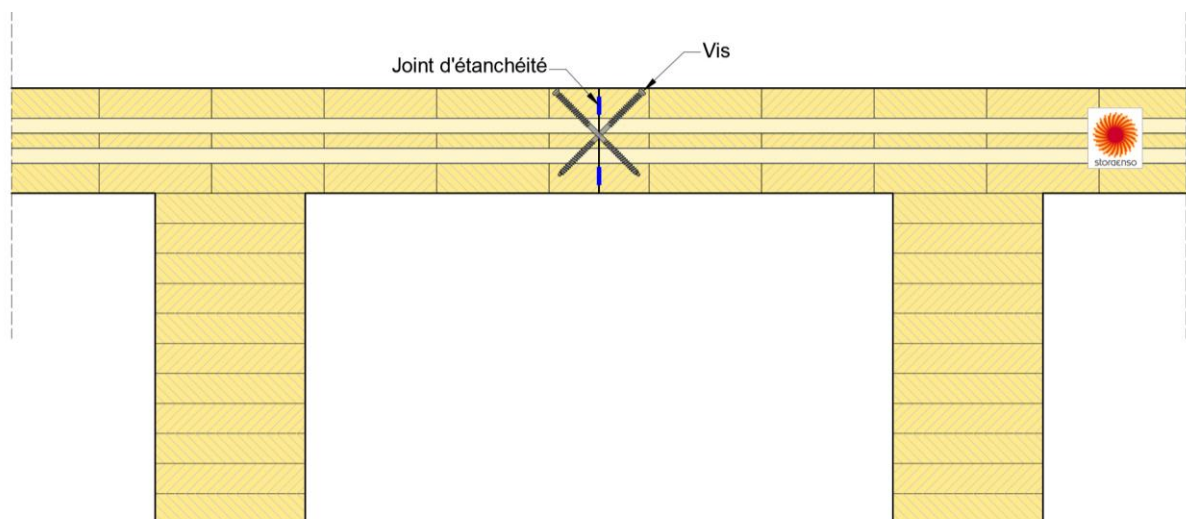


Figure 20: Assemblage par vissage diagonal - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées

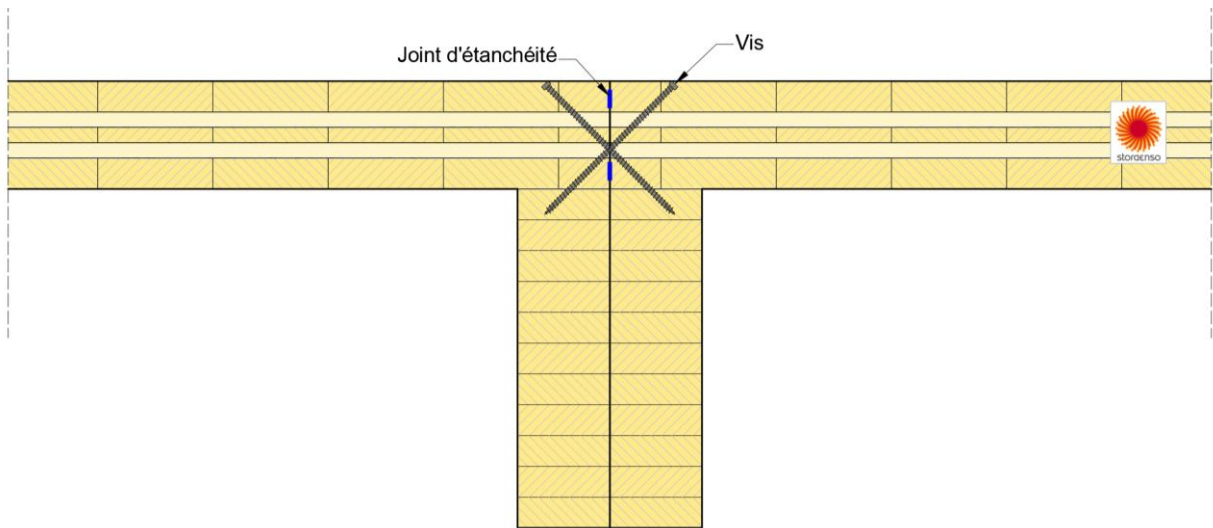


Figure 21 : Assemblage par vissage diagonal - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives alignées

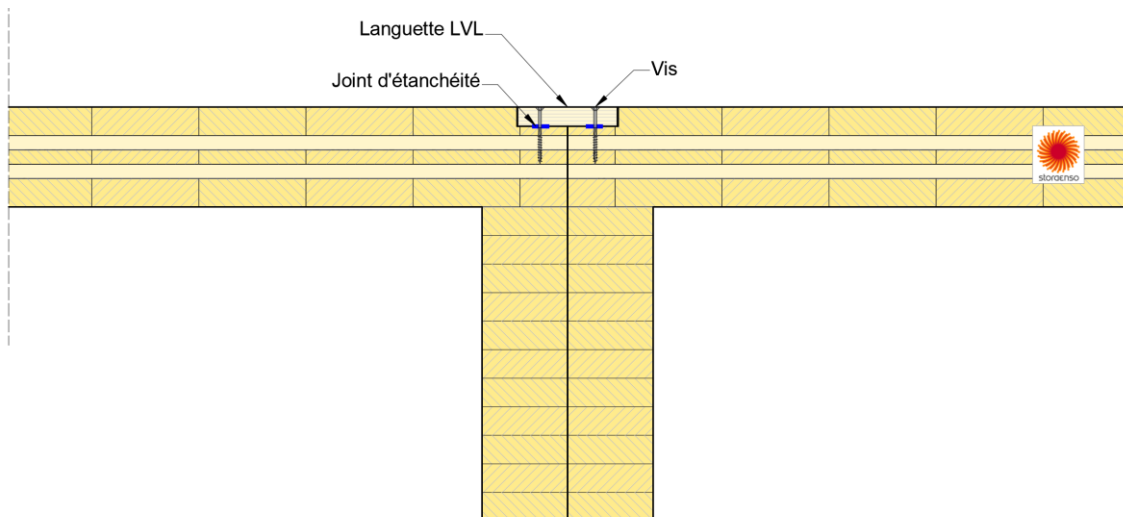


Figure 22 : Assemblage par une languette - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives alignées

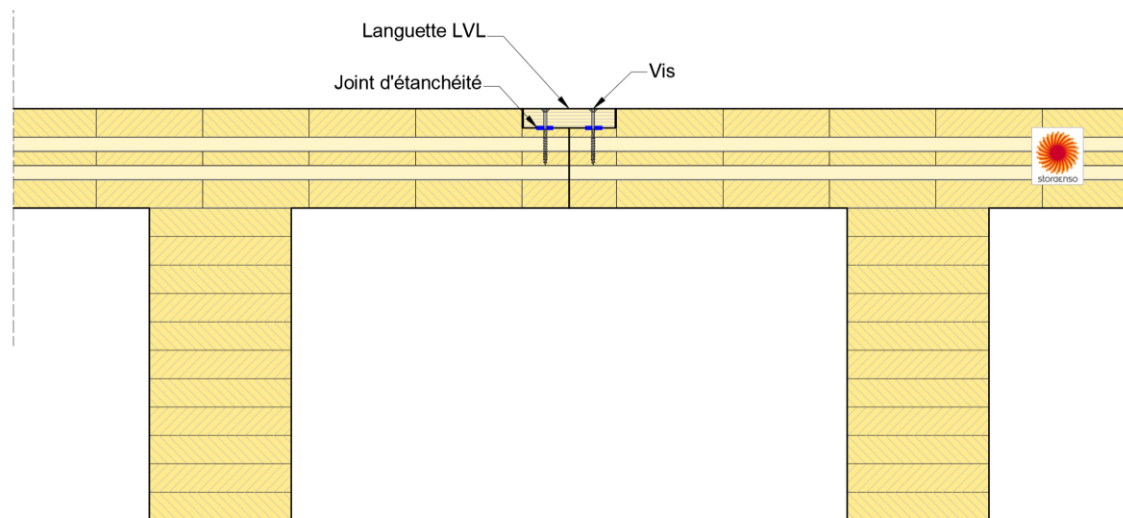


Figure 23 : Assemblage par une languette - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées



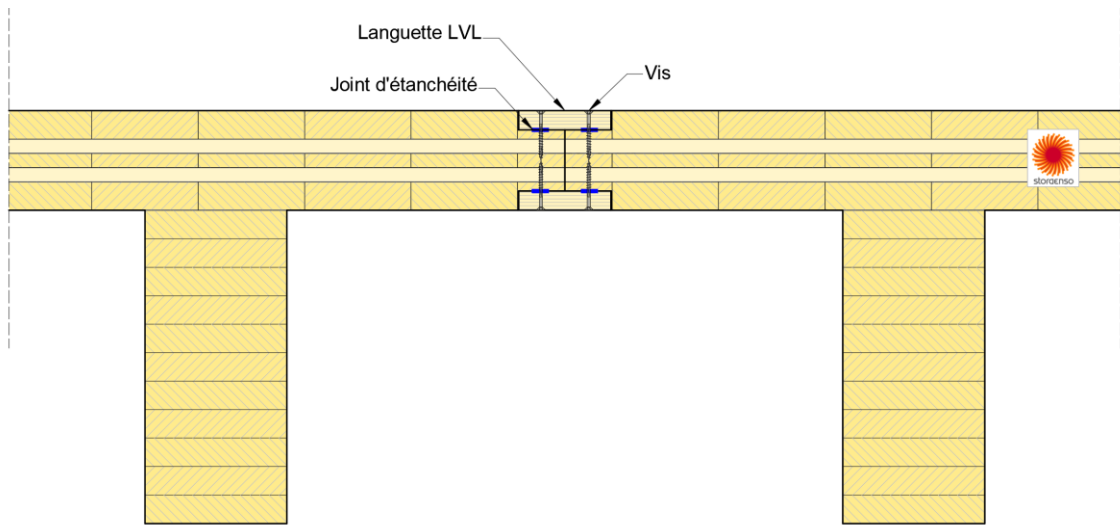
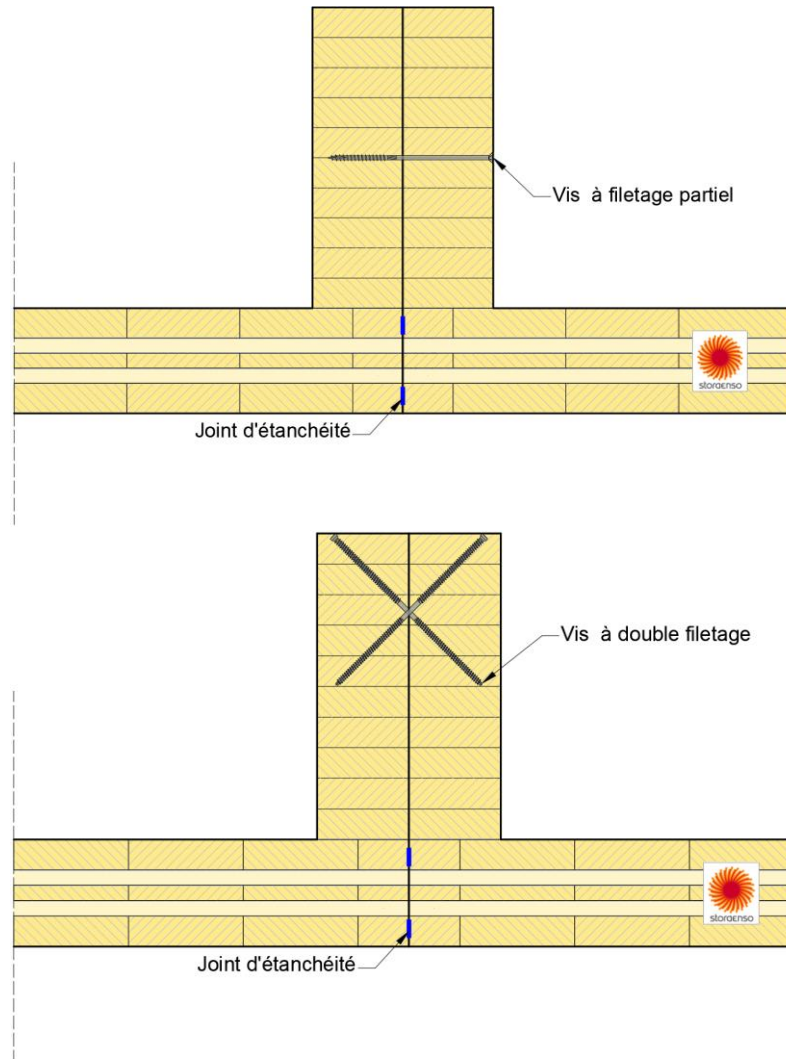


Figure 24 : Assemblage par deux languettes - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées



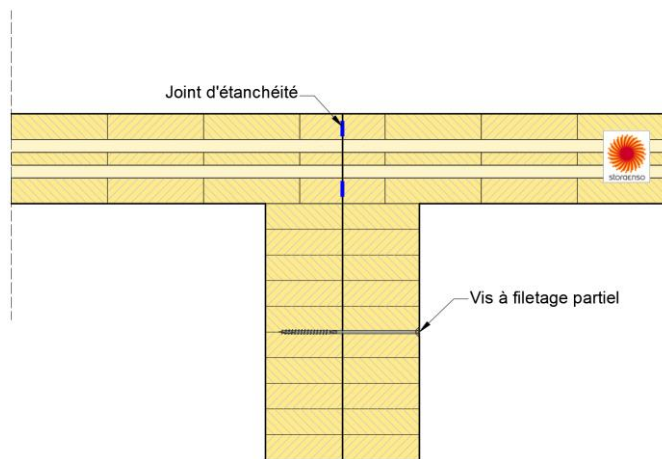


Figure 25 : Assemblage direct des nervures de bord par vis droites et en diagonales (non utilisable en situation sismique) – Caisson ouvert/inversé

Les jonctions entre deux éléments peuvent être réalisées par vissage direct et au moyen d'une ou deux languettes dans une feuillure selon la configuration de « Sylva™ CLT Rib ».

Dans le cas d'assemblage au moyen d'une languette, la longueur de recouvrement assurée par la languette doit être au moins égale à 60 mm de chaque côté. L'épaisseur de la languette supérieure doit être au moins égale à 20 mm. Celle de la languette inférieure doit être dimensionnée de telle sorte que l'épaisseur résiduelle après prise en compte de la carbonisation reste supérieure à 20 mm.

En tous les cas, les joints d'étanchéité doivent être logés dans des gorges permettant la mise en compression des joints, comme le montre la Figure 26.

Les joints d'étanchéité sont de type Hilti Firestop Sealing CFS-S ACR [19]. Ce type de joint a été testé et validé sur des panneaux CLT, et a permis de justifier un critère coupe-feu EI120 [17][18]. Le document technique d'évaluation relatif aux joints Hilti Firestop Sealing CFS-S ACR [19] impose un taux de compressibilité entre 50% et 60%. On note que la tolérance d'espacement entre deux modules est de -2 mm/+ 0 mm [13].

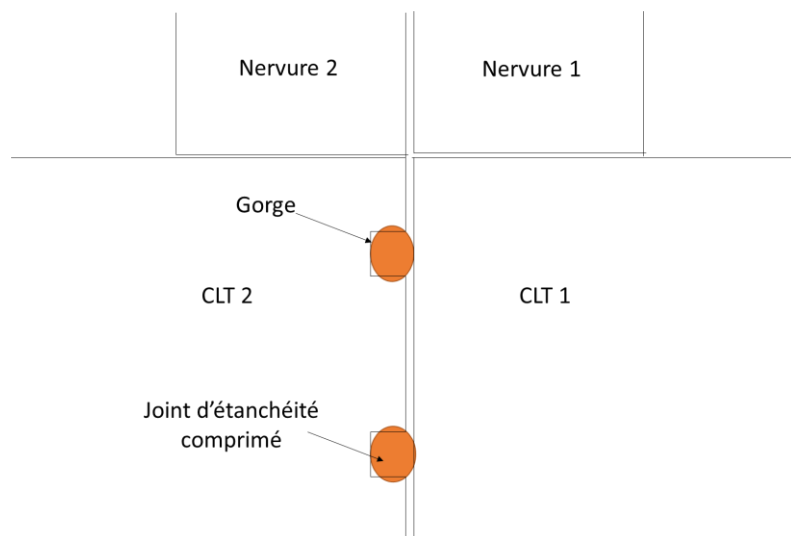


Figure 26 : Gorges créées dans l'un des deux panneaux à assembler permettant de mettre en compression les joints d'étanchéité

### 5.6.2. Appuis des « Sylva™ CLT Rib »

Les Figure 27 à Figure 33 présente les détails de la jonction entre les « Sylva™ CLT Rib » et les éléments de la structure. Les jonctions doivent être réalisés par le demandeur tels que décrits dans l'Avis Technique ou le Document Technique d'Application.

#### 5.6.2.1. Appuis par membrure CLT supérieure

##### Caisson nervuré ouvert :

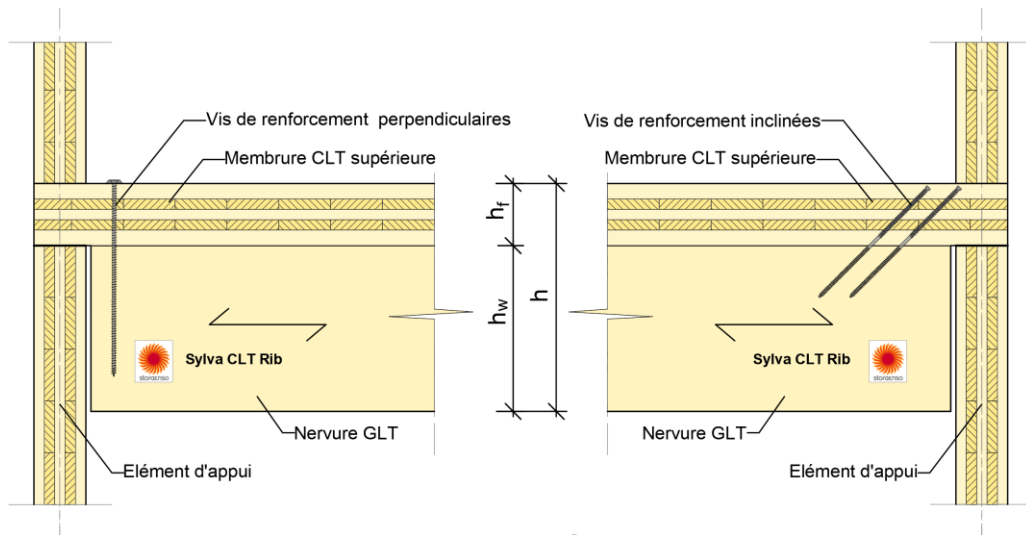


Figure 27: Appui continu par la membrure supérieure avec renforcement par vis (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

##### Caisson nervuré fermé :

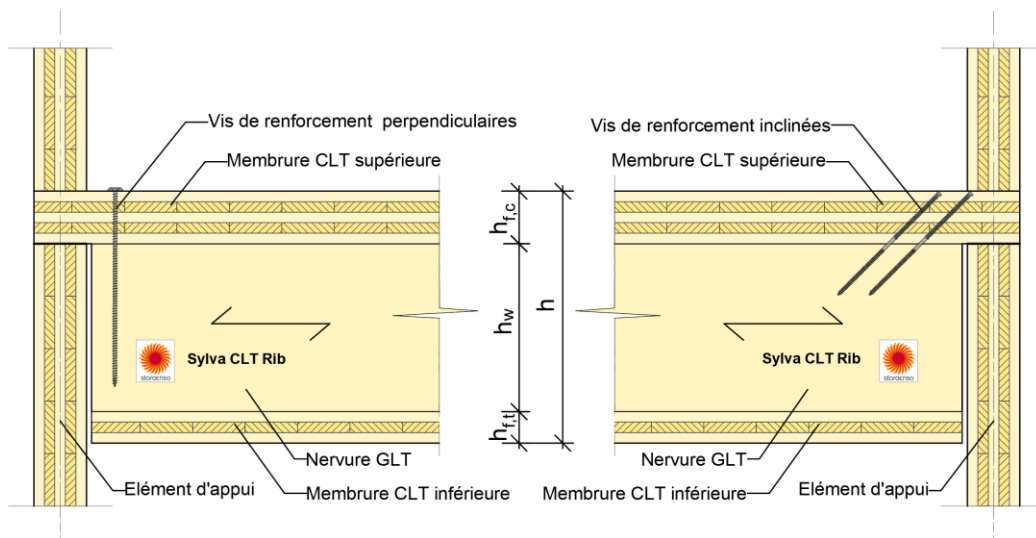


Figure 28: Appui continu par la membrure supérieure avec renforcement par vis (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

#### Remarques :

- L'espacement entre l'élément d'appui et la nervure déportée doit être inférieur à 2 mm. Si les dispositifs constructifs sur chantier ne permettent pas d'assurer un jeu inférieur à 2 mm, la mise en œuvre d'un joint coupe-feu est indispensable pour assurer la résistance, l'isolation et l'étanchéité au niveau des jonctions.

5.6.2.2. Appuis sur support bois

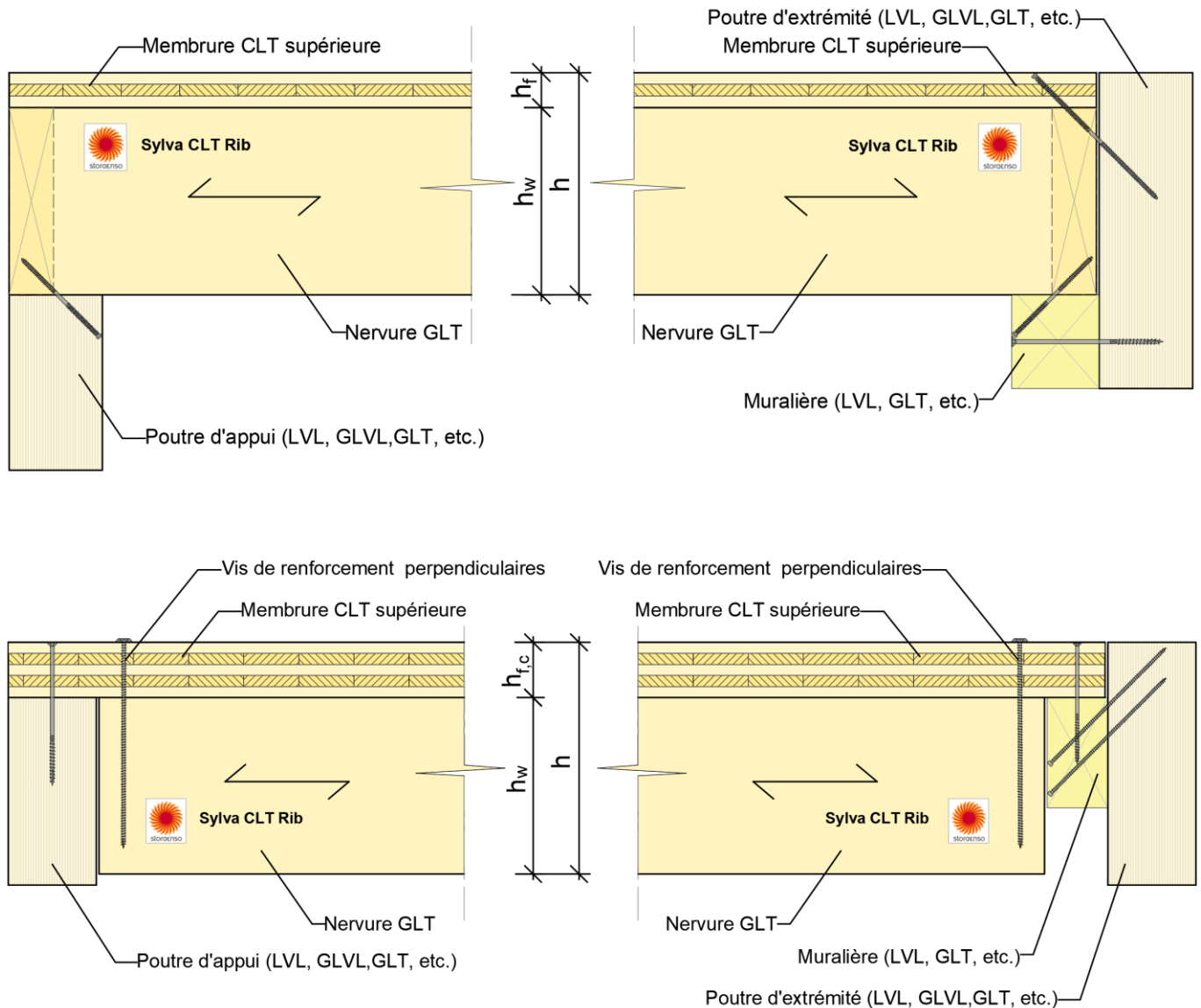


Figure 29: Appui simple sur poutre bois porteuse d'extrémité

Remarques :

- Dans le cas d'appuis sur muralière, elle doit être dimensionnée pour assurer la tenue au feu pendant la durée de résistance au feu requise.
- L'espacement entre l'élément d'appui et la nervure déportée doit être inférieur à 2 mm. Si les dispositifs constructifs sur chantier ne permettent pas d'assurer un jeu inférieur à 2 mm, la mise en œuvre d'un joint coupe-feu est indispensable pour assurer la résistance, l'isolation et l'étanchéité au niveau des jonctions.

5.6.2.3. Appuis sur support métallique ou connecteur métallique

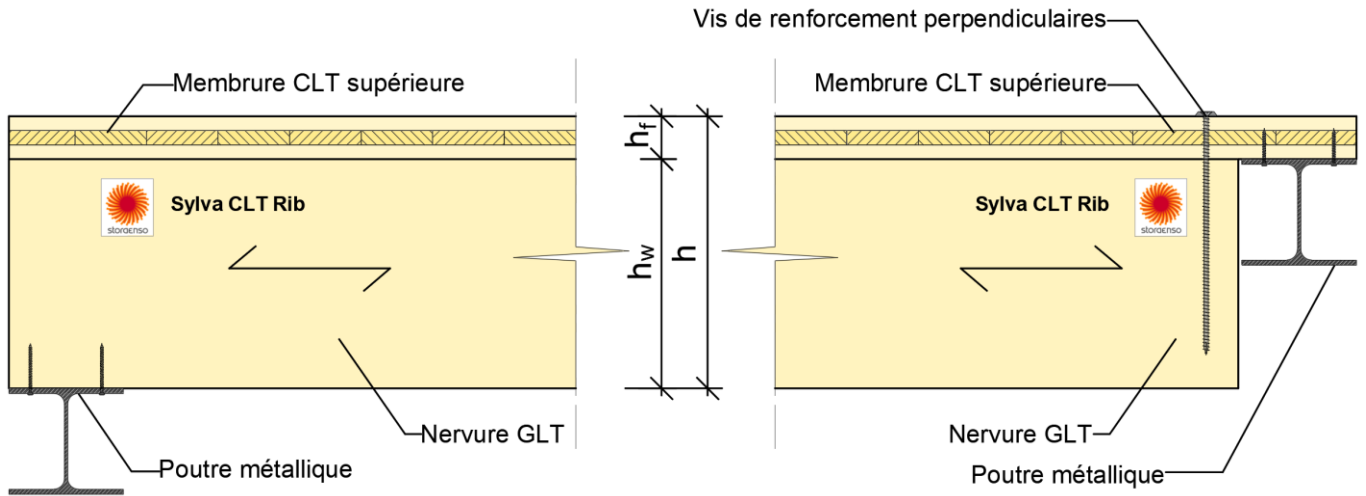
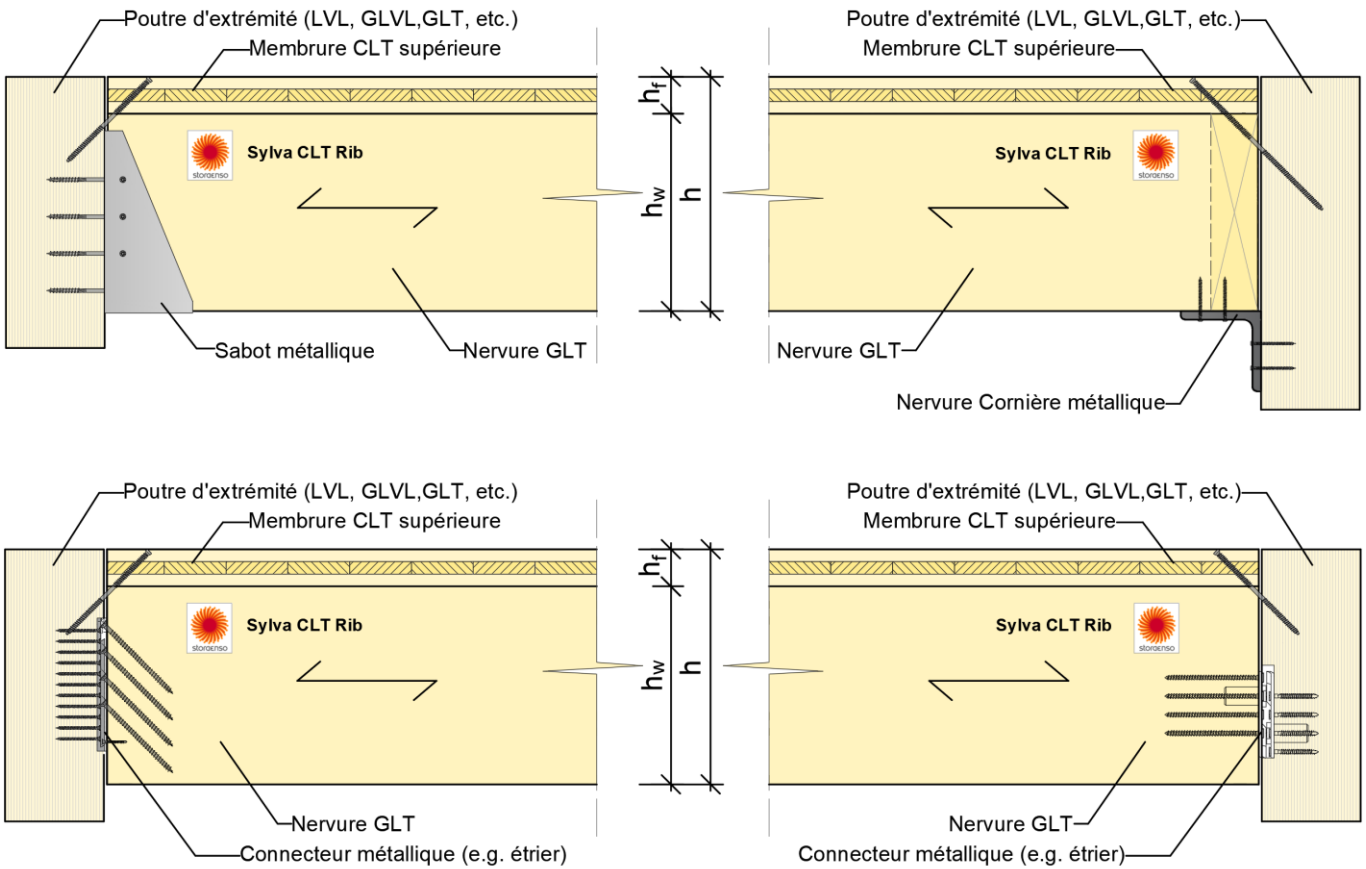


Figure 30: Appui sur poutre métallique



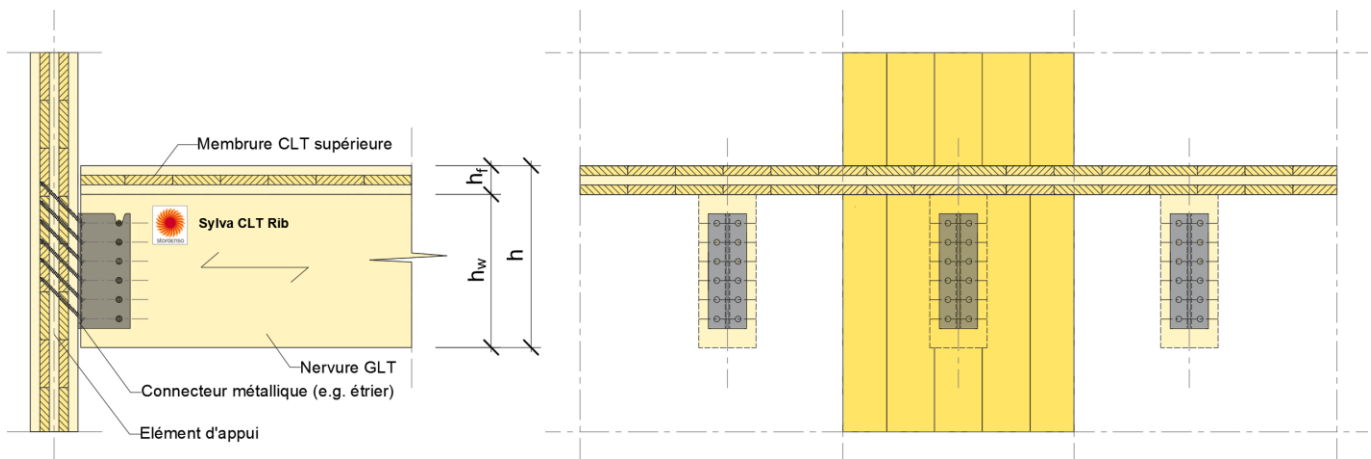


Figure 31: Appui individuel avec connecteur métallique par nervure (e.g. étrier en âme intérieure)

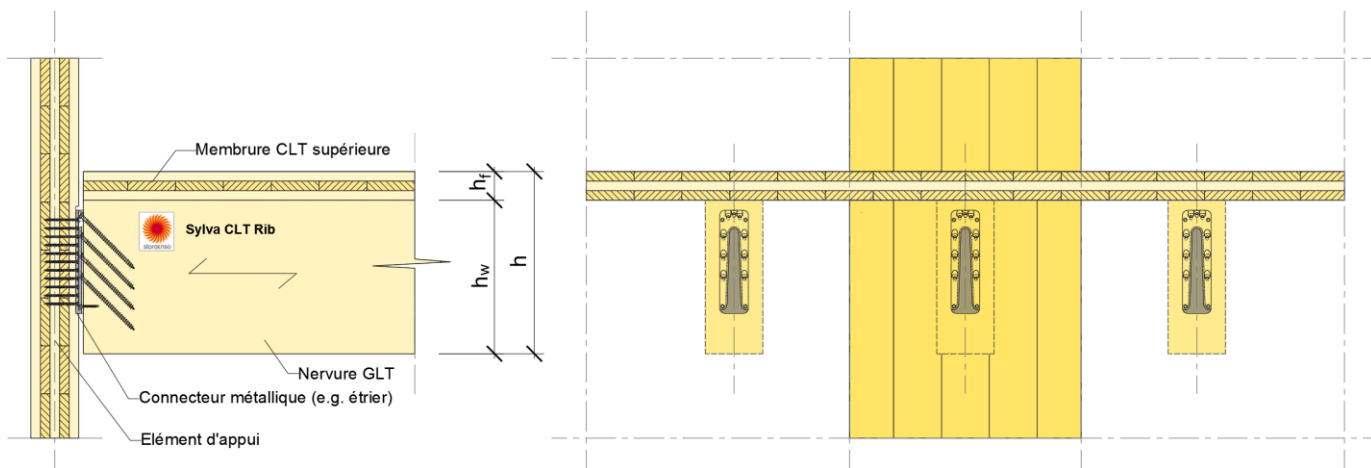


Figure 32: Appui individuel avec connecteur métallique par nervure (e.g. étrier à queue d'aronde)

Remarques :

- Les appuis réalisés à l'aide de pièces additionnelles de type cornière, sabot et connecteur métallique doivent faire l'objet d'une étude de résistance au feu. En cas d'insuffisance de résistance au feu de ces éléments, il convient de concevoir les dispositions complémentaires protégeant ces pièces.

5.6.2.4. Appuis sur support béton

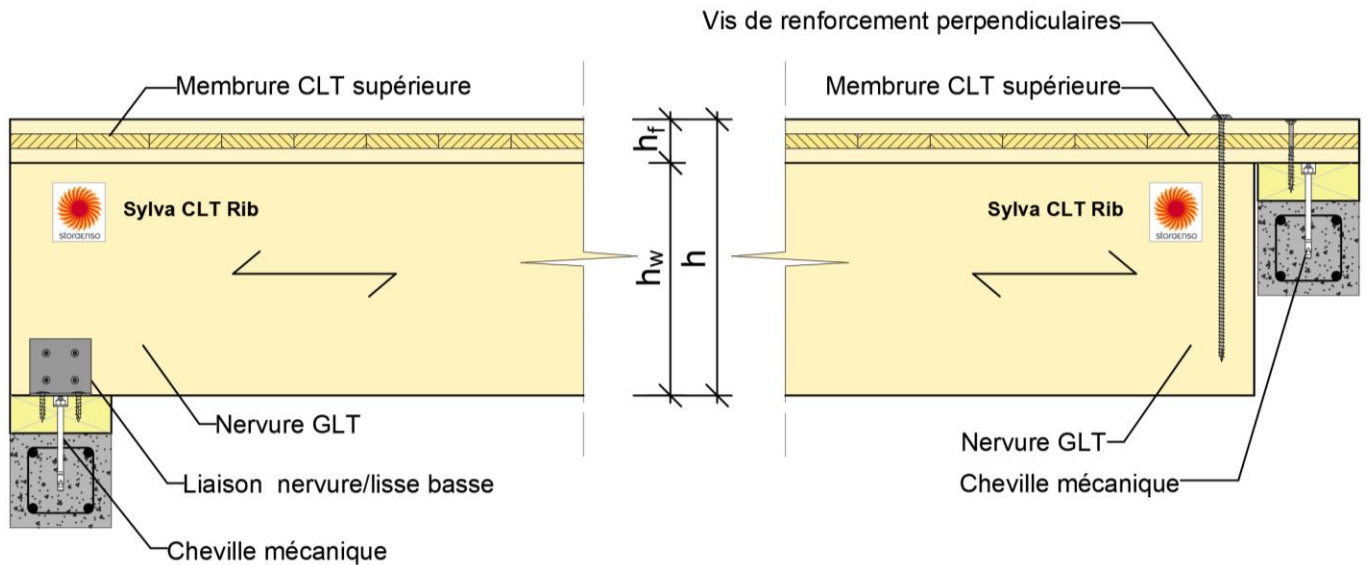


Figure 33: Appuis sur support béton (caisson nervuré ouvert)

5.6.3. Détails constructifs

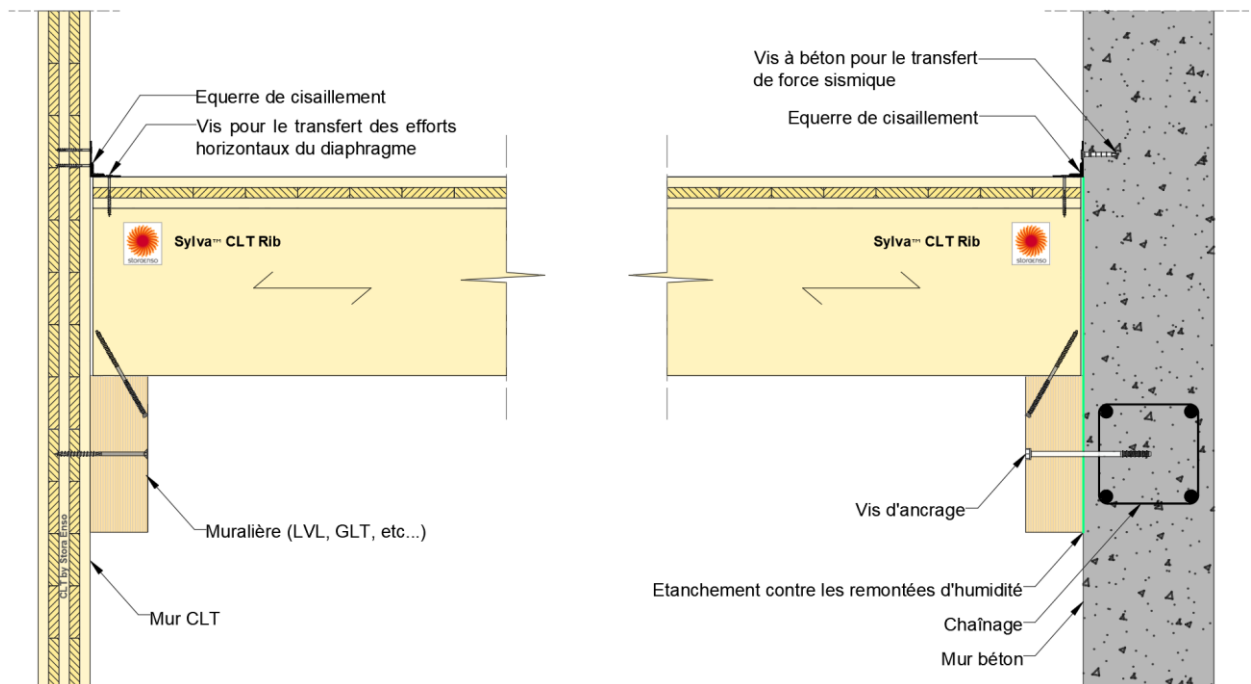


Figure 34: Exemple d'appui simple sur poutre muralière avec liaison sur mur CLT et mur béton – Caisson ouvert

Note : le caisson nervuré fermé ou inversé est également possible dans cette configuration. Les éléments de plafond suspendu ne sont pas représentés sur la figure (utilisable en situation sismique).

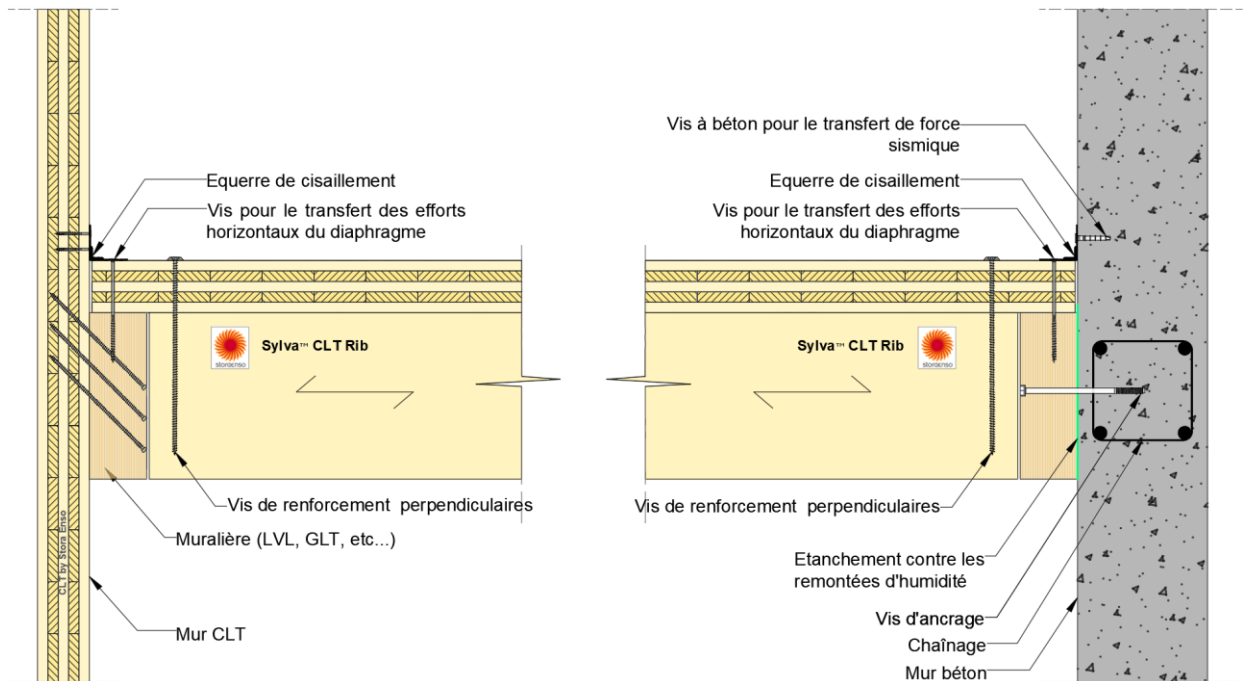


Figure 35 : Exemple d'appui par la membrure CLT supérieure sur poutre muralière en liaison sur mur CLT et mur béton – Caisson ouvert

Note : le caisson nervuré fermé est également possible dans cette configuration. Les éléments de plafond suspendu ne sont pas représentés sur la figure (utilisable en situation sismique).

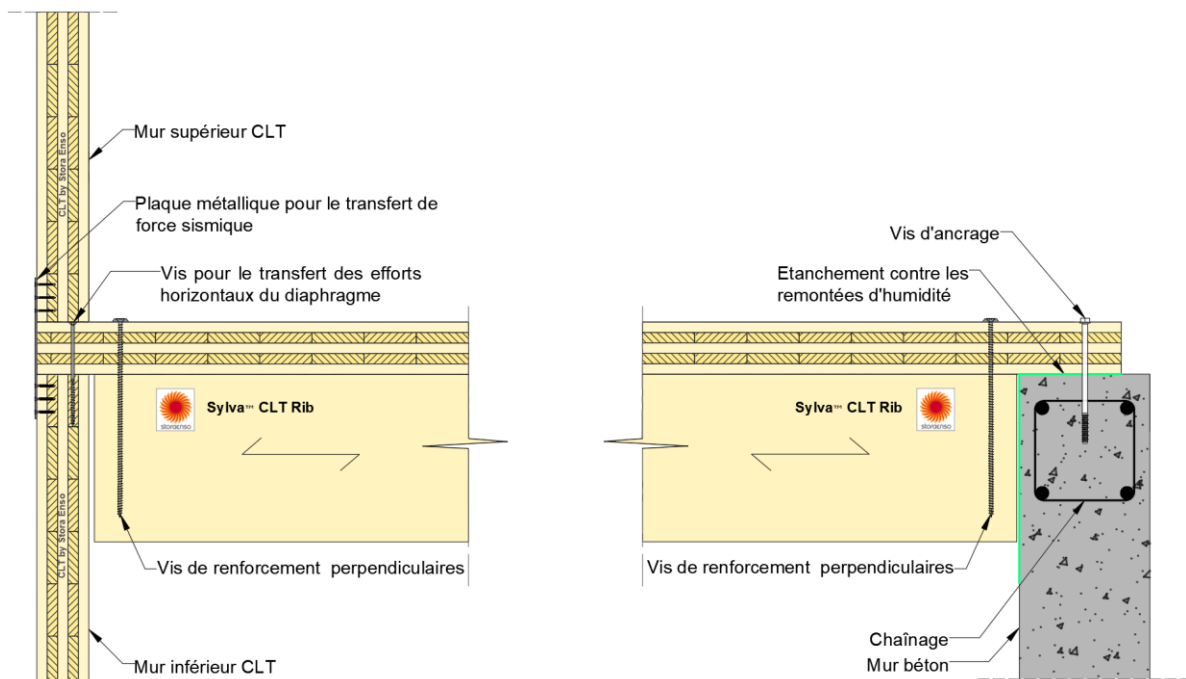


Figure 36: Exemple d'appui par la membrure CLT supérieure sur mur CLT et mur béton – Caisson ouvert

Note : le caisson nervuré fermé est également possible dans cette configuration. Les éléments de plafond suspendu ne sont pas représentés sur la figure (utilisable en situation sismique).



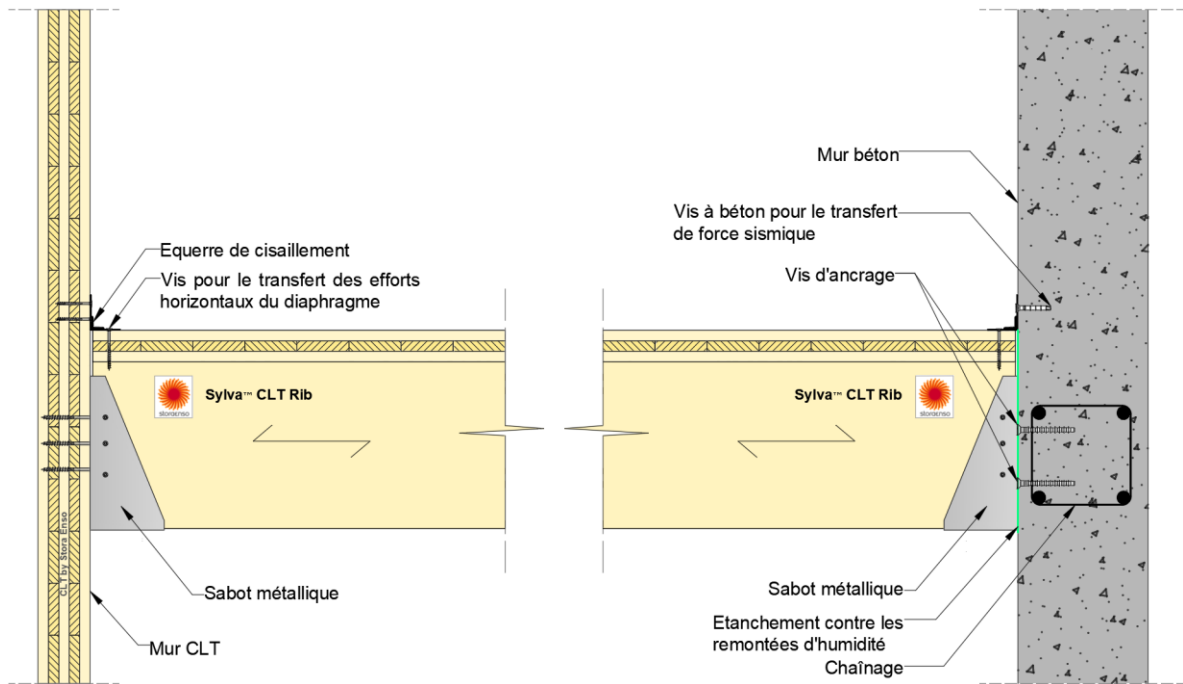


Figure 37: Exemple d'appui simple des nervures avec liaison sur mur CLT et mur béton par sabot métallique – Caisson ouvert

Note : Les éléments de plafond suspendu ne sont pas représentés sur la figure (utilisable en situation sismique).

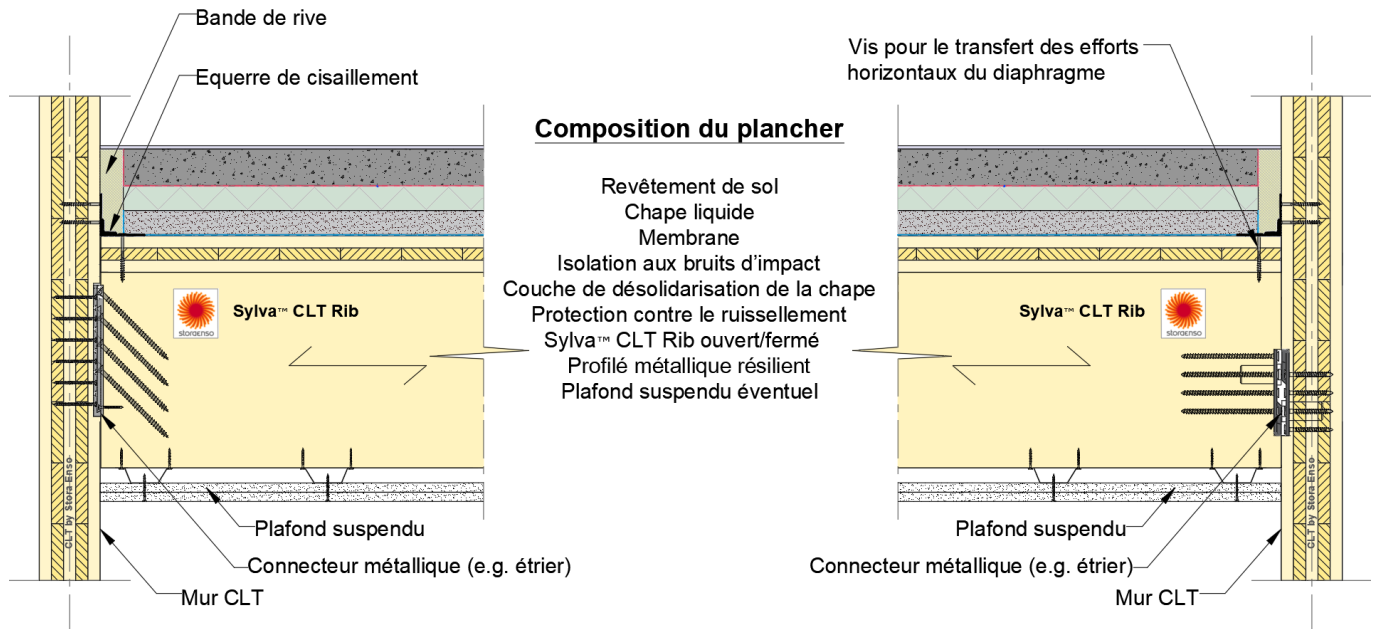


Figure 38: Exemple de complexe de plancher en appui individuel sur mur CLT avec connecteur métallique par nervure (e.g. étrier à queue d'aronde) – Caisson ouvert/fermé

Note : le caisson nervuré fermé ou inversé est également possible dans cette configuration. Les éléments de plafond suspendu ne sont pas représentés sur la figure (utilisable en situation sismique).

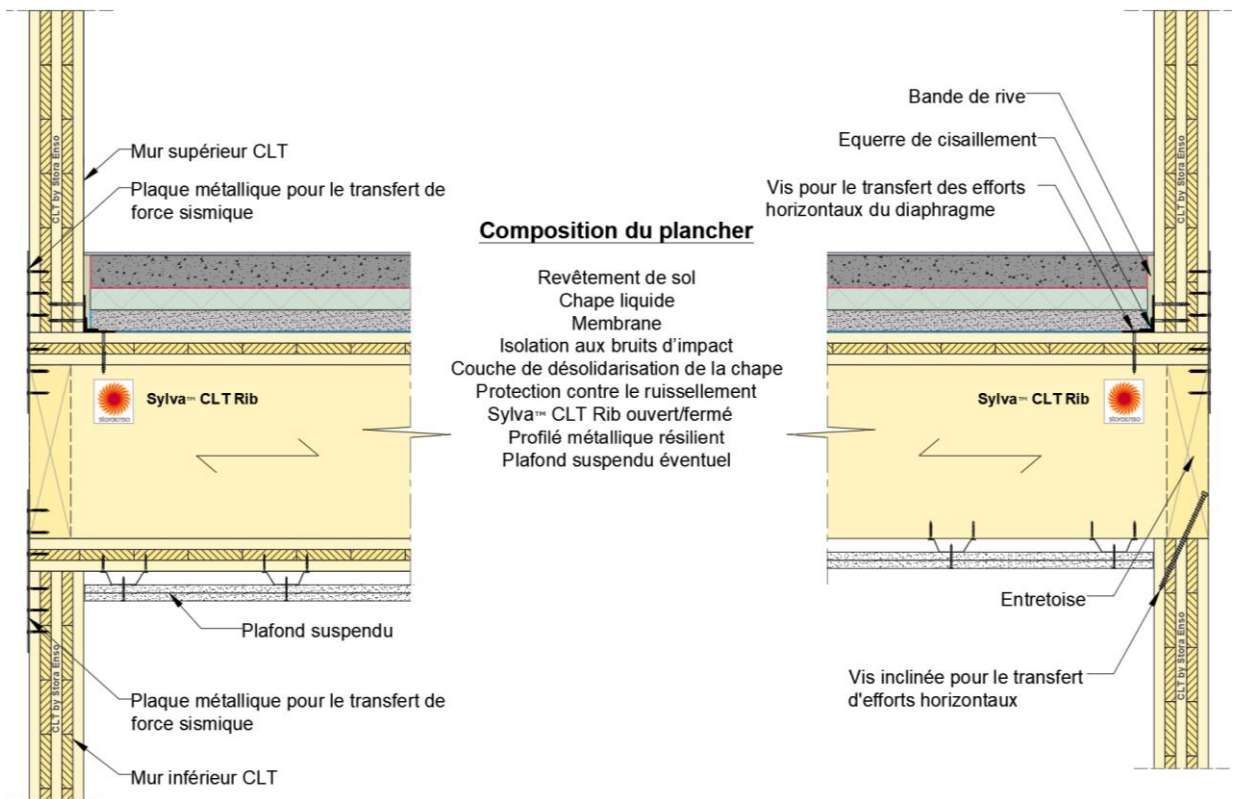


Figure 39: Exemple de complexe de plancher en appui simple sur mur CLT – Caisson ouvert/fermé

Note : le caisson nervuré inversé est également possible dans cette configuration sous condition qu'un platelage soit disposé sur le dessus des nervures (utilisable en situation sismique).

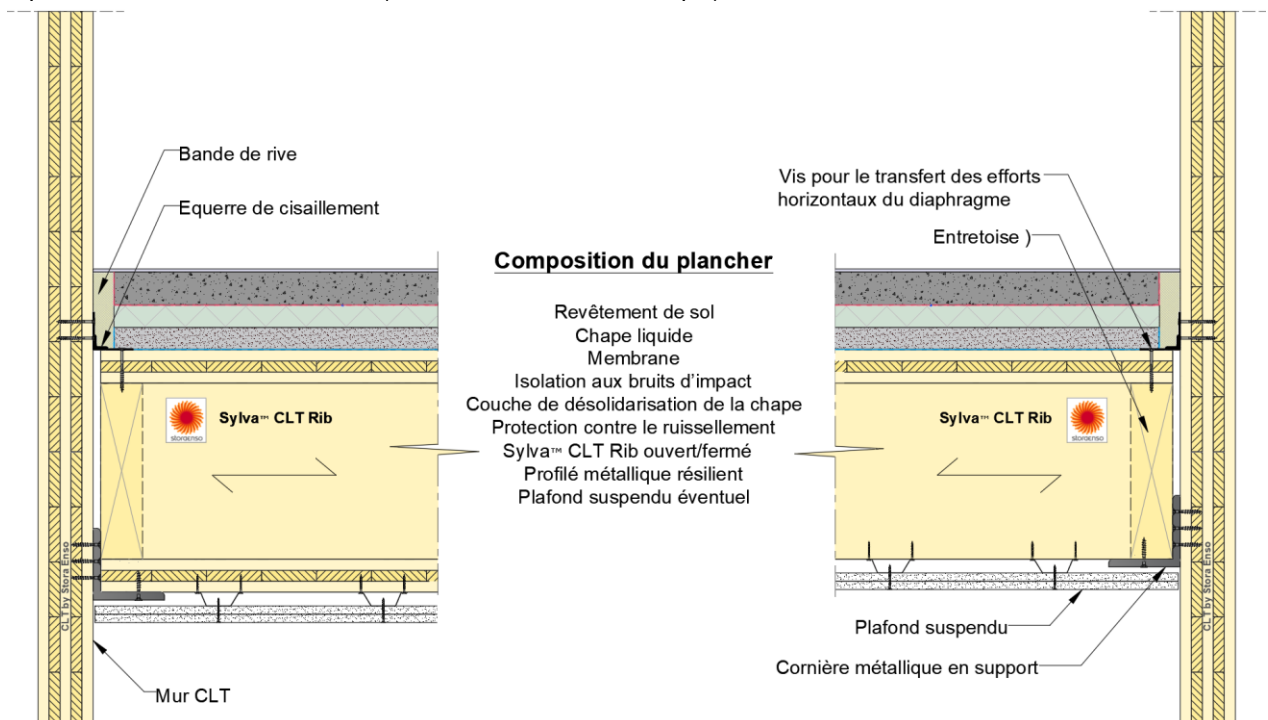


Figure 40 : Exemple de complexe de plancher en appui simple avec liaison sur mur CLT par cornière métallique – Caisson ouvert/fermé

Note : Il faut s'assurer que le jeu laissé entre le caisson Sylva CLT Rib et la cornière métallique support est compatible avec la tête du connecteur utilisé (utilisable en situation sismique).

### 5.7. Protection des « Sylva™ CLT Rib » contre le feu

Les Figures de 41 à 44 présentent les protections appliquées sur les « Sylva™ CLT Rib » contre le feu.

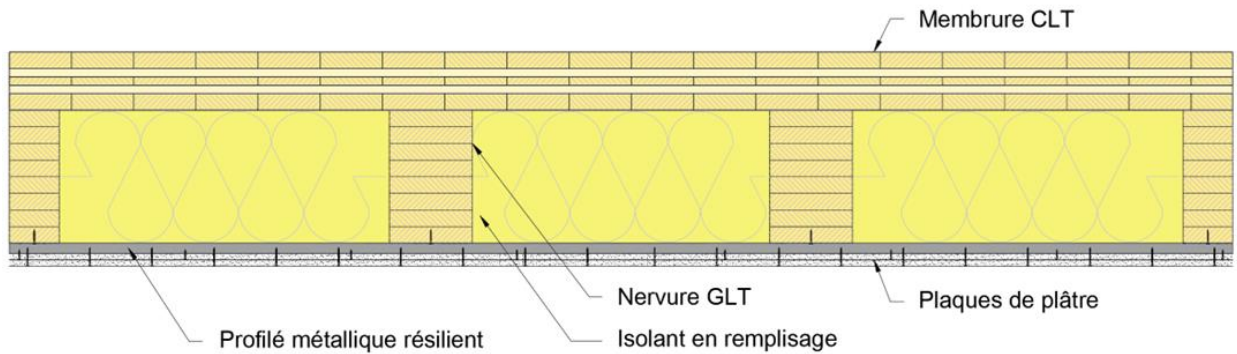


Figure 41: Sylva™ CLT Rib protégé par une couche de protection au feu et intégrant des isolants dans sa cavité

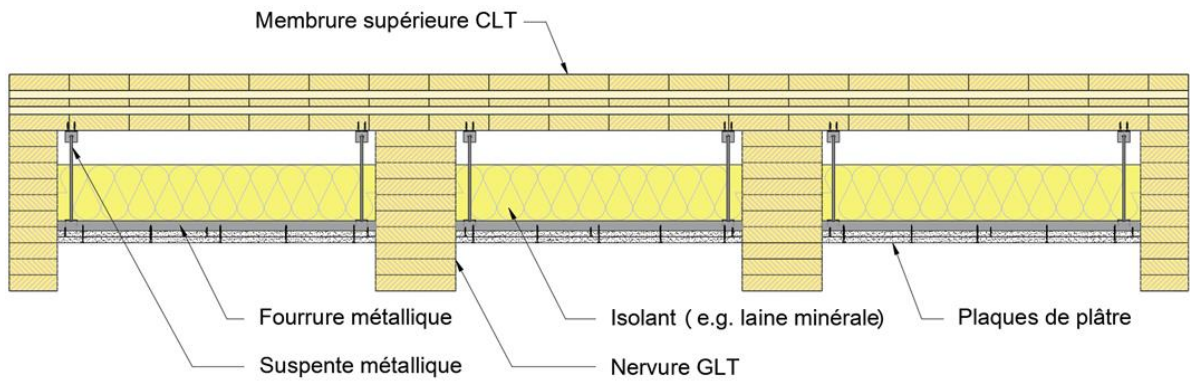


Figure 42: Exemple de mise en œuvre d'un plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec sous-plafond entre nervures

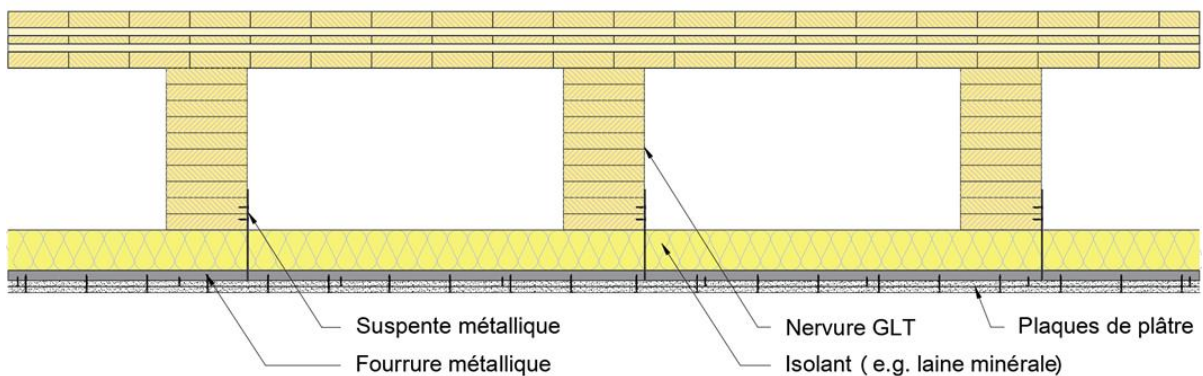


Figure 43: Exemple de mise en œuvre d'un plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec isolants et sous-plafond sous les nervures

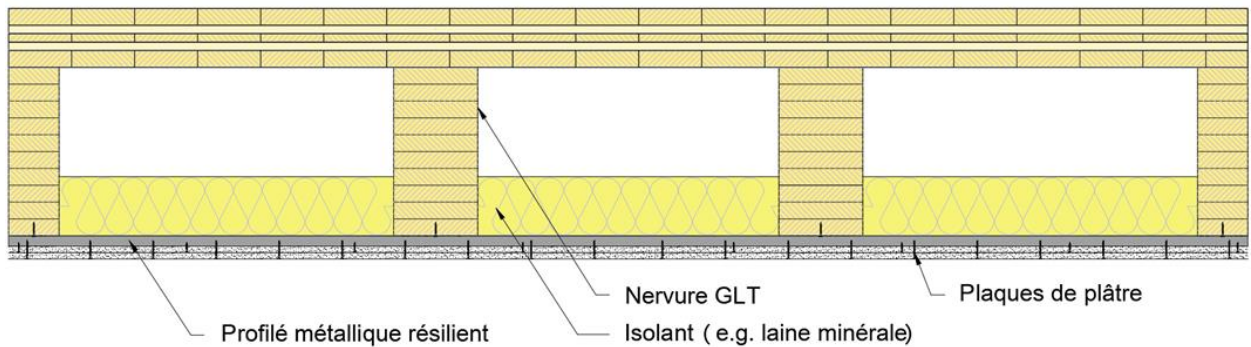


Figure 44: Exemple de mise en œuvre d'un plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec sous-plafond sous les nervures

La protection au feu des « Sylva™ CLT Rib » peut être effectuée par la mise en œuvre de plaques de plâtre de type A ou F, dont la durée de résistance au feu peut être déterminée tel que décrit dans le §5.2.1 de ce document. Les performances au feu des empilements de plaques de plâtre sont données dans le Tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Performances au feu assurées par des écrans thermiques montés sur des planchers en bois [12]

| Type d'écran de planchers | Classement de résistance au feu<br>EI |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 x BA13-A                | 15                                    |
| 2 x BA13-A, ou 1 x BA15-F | 30                                    |
| 3 x BA15-F                | 60                                    |

*Remarque :* la protection par un seul panneau BA13 de type A n'apporte pas des performances au feu supplémentaires aux Sylva™ CLT Rib. En effet, en l'absence d'un écran de protection et pour une durée de 30 minutes d'exposition au feu, le front de carbonisation avance de 21 mm ( $=0.7 \times 30$ ) à partir de la face exposée du panneau. Or, dans le cas d'une protection par une plaque de plâtre BA13 de type A, l'écran thermique chute après 15 minutes d'exposition au feu, faisant doubler la vitesse de combustion du bois sur les 25 premiers millimètres, conformément au paragraphe 5.1.2.2. La position de front de carbonisation après 30 minutes d'exposition au feu se trouvera alors dans ce cas à une profondeur égale à 21 mm ( $2 \times 0.7 \times 15$ ), soit à une profondeur identique à celle obtenue sans l'écran de protection.

La protection au feu des « Sylva™ CLT Rib » peut être effectuée aussi avec des produits présentant des performances thermiques et mécaniques équivalentes, sous PV de résistance au feu sur le support visé.

### 5.8. Protection des assemblages

Concernant la protection des assemblages, on se reportera à l'Eurocode 5 partie 1-2, section 6 [7] et son annexe nationale [8]. On attire l'attention sur le fait que la protection des assemblages selon la méthode de l'Eurocode 5 partie 1-2, section 6 se limite à une durée d'exposition au feu de 60 minutes. Pour des durées d'exposition au feu supérieures, des précisions complémentaires doivent être apportées concernant la méthode de protection envisagée et la tenue au feu des assemblages.

### 5.9. Ouvertures horizontales dans les nervures

Les nervures des « Sylva™ CLT Rib » peuvent contenir des ouvertures horizontales réservées aux passages de câbles et de tuyauterie. Dans ce cas de figure, un écran thermique doit être mis en place, permettant d'assurer une température dans le plénum inférieure à 70°C durant la durée requise de résistance au feu (70°C correspond à la température de fusion du PVC).

La nature et la composition de l'écran thermique peut être déterminée en s'appuyant sur les performances au feu de chaque type d'écran sur le Tableau 5. Cette mesure vise à éviter le risque d'inflammation des câbles et des tuyaux derrière l'écran thermique et la propagation du feu dans le plénum.

## 6. CONCLUSION

Au sens de l'arrêté de résistance au feu susvisé, pour le procédé « Sylva™ CLT Rib », cette appréciation de laboratoire décrit la procédure de calcul qui doit être prise en compte pour le dimensionnement de ces éléments afin de satisfaire la durée de résistance au feu requise.

Le procédé « Sylva™ CLT Rib » possède quatre PV de classement de résistance au feu rédigés par un laboratoire agréé. En dehors de ces quatre configurations d'essais, la résistance d'un « Sylva™ CLT Rib » peut être déterminée à partir de la résistance résiduelle du plancher intégrant les lames longitudinales du panneau CLT et celles des nervures non affectées par le feu. La procédure de calcul de la section réduite et la valeur de sa longueur efficace sont données dans ce document.

Des détails constructifs sur les jonctions des panneaux sont également donnés dans ce document.

#### Remarque :

*On rappelle que la colle utilisée à l'interface panneau CLT/nervure doit être une résine polyuréthane mono composant 1K-PUR conforme à la norme EN 15425. Les conclusions de cette Appréciation pourraient être étendues à une colle en MUF conforme à la norme NF EN 301 à l'interface panneau CLT/nervure, à condition que la résistance au cisaillement du joint de colle utilisant de la MUF soit prouvée être supérieure ou égal à celle du joint de colle en 1K-PUR au moins jusqu'à une température de 140 °C.*

*L'acceptation et l'utilisation de cette Appréciation engagent le demandeur sur l'exactitude des informations communiquées et utilisées par le laboratoire pour établir la présente Appréciation.*

*La conformité des réalisations des chantiers n'est pas vérifiée par le laboratoire de résistance au feu. La présente Appréciation est établie sur la supposition du dimensionnement normal de l'ouvrage vis-à-vis des actions mécaniques auxquelles il doit résister à froid. Ce dimensionnement n'a pas été vérifié par le laboratoire de résistance au feu.*

## 7. VALIDITÉ

La durée de validité de la présente appréciation est limitée à 5 ans. Elle est de plus assujettie à l'existence d'une évaluation technique en cours de validité. Celle-ci doit viser l'aptitude à l'usage du procédé tel qu'un Avis Technique ou un Document Technique d'Application (au sens de l'arrêté du 21 mars 2012) ou bien une Appréciation Technique d'Expérimentation (au sens du règlement des ATEX du CSTB).