DTA
DOCUMENT TECHNIQUE D'APPLICATION

3.1/18-975_V4

Valide du **10 juin 2024**

au **31 juillet 2028**

Sur le procédé

Sylva™ CLT Rib by Stora Enso

Titulaire : **Société Stora Enso Oyj**

Distributeur : **Société Stora Enso Oyj**
Internet : www.storaenso.com

Descripteur :

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont des éléments de structure bois de grandes dimensions composés d'une ou de deux membrures en panneau en lamellé croisé Stora Enso CLT sous Avis Technique et de nervures en lamellé collé ou bois massif reconstitué. Le tout est assemblé au moyen d'un collage réalisé en usine.

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent être ouvert (en T), inversé (en T inversé) ou complétement fermé (en I).

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont destinés à la réalisation de planchers.

Les caissons nervurés ont les dimensions suivantes :

- Longueur suivant la dimension du panneau CLT ;
- Largeur jusqu'à 3.50 m comportant jusqu'à 6 nervures ;
- Epaisseur suivant l'épaisseur du panneau CLT.

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent contenir de l'isolation thermique et acoustique entre leurs nervures.

Groupe Spécialisé n° 3.1 - Planchers et accessoires de plancher

Famille de produit/Procédé : Plancher à caissons en bois

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
2	Cette version annule et remplace l'Avis Technique 3.1/18-975_V1 Cette version intègre les modifications suivantes : - Ajout d'un nouveau site de fabrication.	M. PRAT Etienne	Mme. BERNARDIN-EZRAN Roseline
3	Cette version annule et remplace l'Avis Technique 3.1/18-975_V2 Cette version intègre les modifications suivantes : Cette version résulte de la décision de révision d'office à l'initiative du GS n°3.1 en date du 2 décembre 2021. La mise à jour concerne la mise à jour des limitations de flèche active en référence à la version du FD P18-717 parue en août 2021. Prorogation à l'Avis Technique 3.1/18-975_V3.	M. PRAT Etienne	Mme. BERNARDIN-EZRAN Roseline
4	Cette version, examinée par le GS3.1 le 05 juillet 2023, annule et remplace l'Avis Technique 3.1/18-975_V3. Cette version intègre les modifications suivantes : • Modification des catégories d'usage (C4 et E1) et modification de la charge ponctuelle de 5 kN à 7kN ; • Nouveau nom commercial : Sylva™ CLT Rib ; • Ajout et adaptation des nouveaux éléments qui sont présents dans l'ETA-20/0893 ; • Nouveaux types d'appuis ; • Nervures déportées ; • Valeurs acoustiques ; • Mise à jour des largueurs efficaces (ponctuel et cisaillement roulant) ; • Mise à jour de l'Appréciation Laboratoire au feu N°AL18-234 ; • Mise à jour des figures.	M. PRAT Etienne	Mme. BERNARDIN-EZRAN Roseline

Table des matières

1. Avis du Groupe Spécialisé 5
1.1. Domaine d'emploi accepté 5
1.1.1. Zone géographique 5
1.1.2. Ouvrages visés 5
1.2. Appréciation 5
1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé 5
1.2.2. Durabilité 7
1.2.3. Impacts environnementaux 7
1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 7
1.4. Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé 8
1.4.1. Dimensionnement des planchers 8
2. Dossier Technique 12
2.1. Mode de commercialisation 12
2.1.1. Coordonnées 12
2.1.2. Autres dénominations commerciales 12
2.1.3. Mise sur le marché 12
2.1.4. Identification 12
2.2. Description 12
2.2.1. Principe 12
2.2.2. Caractéristiques des composants 13
2.2.3. Description des caissons nervurés 14
2.2.4. Types d'appuis des caissons nervurés 17
2.2.5. Caractéristiques physiques des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib 21
2.3. Dispositions de conception 22
2.3.1. Dispositions générales 22
2.3.2. Généralités sur le calcul du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib 22
2.3.3. Charges 22
2.3.4. Coefficients 23
2.3.5. Propriétés de la section transversale 24
2.3.6. États limites ultimes (ELU) 32
2.3.7. États limites de services (ELS) 49
2.3.8. Dimensionnement des appuis 53
2.3.9. Réservations dans les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib 61
2.3.10. Assemblage d'un caisson nervuré à une structure adjacente 66
2.3.11. Dispositions relatives aux ouvrages en caissons nervurés Stora Enso 70
2.4. Dimensionnement vis-à-vis des situations d'incendie 76
2.5. Dispositions de mise en œuvre 76
2.5.1. Dispositions constructives générales 76
2.5.2. Dispositions générales relatives aux chantiers 76
2.6. Performance acoustiques – compositions de plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib testés 78
2.7. Traitement de préservation 79
2.8. Assistance technique 79
2.9. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication 79
2.9.1. Fabrication des panneaux Sylva™ CLT Rib 79
2.9.2. Fabrication des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib 79
2.9.3. Contrôle de fabrication 80

2.9.4. Contrôle interne et externe 80
2.10. Mention des justificatifs 81
2.10.1. Résultats expérimentaux 81
2.10.2. Références chantiers 82
2.11. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre 84
2.11.1. Types d'appuis (complément) 84
2.11.2. Détails constructifs 86
2.11.3. Vissage direct des deux nervures de bord 92
2.11.4. Dispositions relatives aux revêtements intérieurs 93
2.11.5. Force de calcul verticale au niveau du joint longitudinal dans le cas de nervure de rive déportée 94

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre 2 « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, moyennant les dispositions constructives définies dans le Dossier Technique.

1.1.2. Ouvrages visés

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.1, à savoir les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1ère à la 4ème famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après.

Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la règlementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction ainsi que du domaine d'emploi des panneaux STORA ENSO CLT Document Technique d'Application n°3.3/15-798_V5 qui le constitue.

Le procédé Sylva™ CLT Rib est destiné à la réalisation d'ouvrages de structure en classe de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classe d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

L'Avis est formulé pour les utilisations en France européenne, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié. L'aptitude au levage des éléments Sylva™ CLT Rib n'est pas visée par le présent Avis.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n > 5g/m^3$, avec :

- W = quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure ;
- n = taux horaire de renouvellement d'air.

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 dans la limite des hypothèses suivantes et pour des charges ponctuelles limitées à 7 kN. L'utilisation de chariots élévateurs sur ce procédé n'est pas visée par le présent Avis.

L'Avis est formulé en excluant la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles. Les revêtements fragiles doivent être mis en place en pose désolidarisée.

Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent Avis.

Les utilisations des Sylva™ CLT Rib en support de couverture et support d'étanchéité ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis.

Les ouvrages enterrés en Sylva™ CLT Rib sont exclus du domaine d'emploi.

Les procédés Sylva™ CLT Rib traités par des produits d'ignifugation ne sont pas visés par le présent Avis.

Les éléments porteurs verticaux compatibles avec les planchers réalisés avec des éléments Sylva™ CLT Rib sont les suivants :

- Les murs réalisés avec des éléments STORA ENSO CLT ;
- Les murs en béton conformes au NF DTU 21, NF DTU 23.1 ;
- Les murs en maçonnerie de petits éléments conformes au NF DTU 20.1 ;
- Les structures bois conformes aux NF DTU 31.1, NF DTU 31.2;
- Toute structure à éléments porteurs en bois ou à base de bois calculée selon la NF EN 1995-1-1 y compris incluant des porteurs métalliques calculés selon l'Eurocode 3.

L'utilisation des éléments Sylva™ CLT Rib en plancher sur vide sanitaire est à exclure des zones infestées par les termites en l'absence de procédé de barrière anti-termite sous Avis Technique visant les planchers bois en vide-sanitaire.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

La résistance et la stabilité du procédé sont normalement assurées dans le domaine d'emploi accepté sous réserve des dispositions complémentaires données au Dossier Technique et en Annexe 1 de la partie Avis.

1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

Résistance au feu

Conformément aux conditions prévues par l'Arrêté du 14 mars 2011 modifiant l'arrêté du 22 mars 2004 modifié relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont à même de

satisfaire des degrés de stabilité au feu dans les conditions précisées dans l'Appréciation de laboratoire de résistance au feu N°AL18-234 du 05/02/2024 dont les conclusions sont :

- Plancher Sylva™ CLT Rib – Caisson ouvert : REI 90 ;
- Plancher Sylva™ CLT Rib – Caisson ouvert protégé par un écran thermique (2xBA13) : REI 90 ;
- Plancher Sylva™ CLT Rib – Caisson fermé : REI 90 ;
- Plancher Sylva™ CLT Rib – Caisson fermé protégé par un écran thermique (1xBA13) : REI 120.

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 longueur efficace de la section réduite préconise par le CSTB est précisée dans l'Appréciation de laboratoire de résistance au feu N°AL18-234 du 05/02/2024.

Réaction au feu

Les éléments Sylva™ CLT Rib bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2,d0 selon l'Evaluation Technique Européenne ETA-20/0893 daté du 13/10/2023. L'adéquation entre ce classement et les exigences réglementaires doit être examinée au cas par cas en fonction du type de bâtiment et de l'emplacement du caisson dans l'ouvrage.

Propagation du feu aux façades

L'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds est assurée à la jonction façade-plancher par un calfeutrement en nez de plancher.

Les dispositions constructives permettant de limiter le risque de propagation du feu par les façades dont la participation à l'indice C+D (écran thermique, jonction façade/plancher) sont déterminées par application du guide « Bois construction et propagation du feu par les façades » du 26 juillet 2023 version 4 rédigé en application de l'Instruction Technique 249.

1.2.1.3. Pose en zone sismique

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées aux §2.3.11.2 du Dossier Technique.

1.2.1.4. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions. Dans le cas où la phase de manutention génère des efforts nettement supérieurs à ceux subis par le panneau mis en œuvre dans l'ouvrage, les points d'attaches doivent être respectés sur chantier.

Lors des phases provisoires, et tant que l'ensemble des éléments nécessaires au contreventement définitif de l'ouvrage ne sont pas mis en œuvre, la stabilité des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib , doit être assurée au moyen d'un étaiement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction. D'une manière générale, la mise en œuvre des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

1.2.1.5. Isolation thermique

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib présente une isolation thermique « moyenne » évaluée par le coefficient U de transmission surfacique calculable conformément aux règles Th-Bat, en prenant pour conductivité thermique utile du bois $\lambda = 0,13$ *W/m.K*, pour capacité thermique massique *Cp = 1600 J/kg.K*, et pour facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu = 50$ (sec) et $\mu = 20$ (humide). Ces valeurs correspondent à un résineux léger de classe mécanique C24 selon la norme NF EN 338 et dont la masse volumique moyenne, c'est-à-dire avec une teneur en humidité de 15 % selon la terminologie de la norme NF B 51-002, est ≤ 500kg/m^3.

Les performances thermiques des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib dépendent des performances thermiques des isolants rajoutés aux complexes. Les panneaux Sylva™ CLT Rib peuvent nécessiter, selon leur emplacement dans l'ouvrage, la mise en œuvre d'une isolation thermique complémentaire.

Les dispositions décrites dans les figures du Dossier Technique sont données à titre indicatif et n'ont pas été examinées par le Groupe Spécialisé n°3.1, une étude devra être réalisée au cas par cas. Sur les figures sont indiqués les isolants qui sont prescrits dans le NF DTU 31.2-P1-2 (CGM).

1.2.1.6. Isolation acoustique

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib seuls ne permettent pas toujours de satisfaire les exigences en vigueur en matière d'isolation acoustique entre logements dans les bâtiments d'habitation. L'atteinte des critères d'isolation fixés par la réglementation nécessite parfois la mise en œuvre de matériaux d'isolation acoustique ou d'ouvrages complémentaires par exemple un plafond suspendu.

Le respect des exigences règlementaires est justifié au §2.6 du Dossier Technique.

1.2.1.7. Etanchéité à l'eau et à l'air

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib eux-mêmes ne sont pas destinés à jouer un rôle vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau ni de l'étanchéité à l'air.

1.2.1.8. Données environnementales

Le procédé Sylva™ CLT Rib dispose d'une Déclaration Environnementale (DE) et peut donc revendiquer une performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

1.2.1.9. Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation, et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entrent pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

1.2.2. Durabilité

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les Sylva™ CLT Rib aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée soit du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée, soit par l'application d'un traitement de préservation dans les conditions fixées au §2.7.

Le deuxième décret n° 2006-591 d'application de la loi n° 99-471 du 8 juin 1999 tendant à protéger les acquéreurs et propriétaires d'immeubles contre les termites et autres insectes xylophages - dite loi termites, suivi par l'arrêté du 16 février 2010 modifiant l'arrêté du 27 juin 2006 relatif à l'application des articles R.112-2 et R. 112-4 du code de la construction et de l'habitation, vise la protection des bois et des matériaux à base de bois participant à la solidité des ouvrages et mis en œuvre lors de la construction de bâtiments neufs ou de travaux d'aménagement. Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données au Dossier technique.

1.2.3. Impacts environnementaux

Le traitement en fin de vie peut être assimilé à celui de produits traditionnels.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le présent DTA est formulé sur la base de l'ETA-20/0893 daté du 13/10/2023, dont il est rappelé qu'il n'a pas de limite de validité.

En l'absence de précision dans le Dossier Technique, il appartient au MOE en accord avec le détenteur de l'Avis Technique de prévoir une conception adaptée dans les locaux « humides » c'est-à-dire les Salles de Bain accessibles aux PMR.

En l'absence de précision dans le Dossier Technique, il appartient au MOE en accord avec le détenteur de l'Avis Technique de prévoir une conception adaptée à la mise en place de revêtement fragile en pose désolidarisée sur supports bois.

Les caractéristiques des planchers du présent Avis Technique répondent aux caractéristiques des planchers bois spécifiées :

- Dans le DTU 51.3 pour la pose directe des revêtements de sol ;
- Dans les Recommandations Professionnelles RAGE « Chapes et dalles sur planchers bois – neuf » pour la mise en œuvre des chapes relevant du DTU 26.2 ;
- Dans le DTU 51.3 pour la mise en œuvre des chapes relevant des Avis Techniques visant le support bois.

1.4. Annexe de l'Avis du Groupe Spécialisé

1.4.1. Dimensionnement des planchers

1.4.1.1. Données

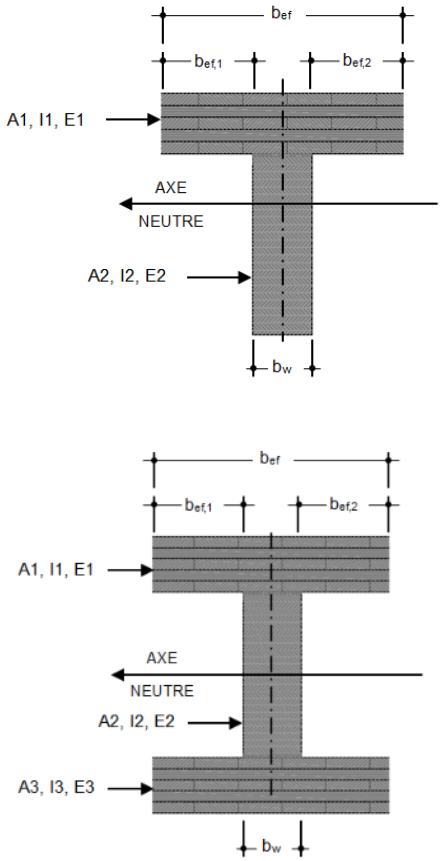


Figure 1 - Section partielle d'un caisson nervuré Sylva™ CLT Rib

Portée	L
Résistance caractéristique à la flexion	$f_{m,k}$
Résistance caractéristique à la traction	$f_{t,0,k}$
Résistance caractéristique au cisaillement	$f_{V,k}$
Résistance caractéristique au cisaillement roulant	$f_{R,V,k}$
Module d'élasticité moyen	$E_{0,mean}$
Module de cisaillement moyen	$G_{,mean}$
Coefficient de sécurité matériau	γ_m
Coefficient de modification	k_{mod}
Coefficient de déformation	k_{def}

Résistance de calcul à la flexion	$f_{m,0,d} = k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_m$
Résistance de calcul à la traction	$f_{t,0,d} = k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_m$
Résistance de calcul au cisaillement	$f_{R,d} = k_{mod} \times f_{R,k} / \gamma_m$

Moment de flexion de calcul maximum	M_d
Effort tranchant maximum de dimensionnement	V_d

1.4.1.2. Conception

Bien que les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes), compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents, les planchers doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur 4 côtés.

Il ne sera pas tenu compte de la répartition transversale des charges. Chaque élément de plancher sera dimensionné pour résister aux charges qui lui sont directement appliquées.

Lorsque les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib, utilisés comme planchers porteurs, sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. §2.3.9.5 du dossier technique). Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} en fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges.

Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon les valeurs définies dans le §2.3.4 du Dossier Technique.

1.4.1.3. Vérification à l'ELU instantanée

Il convient que la largeur efficace des sections partielles soit déterminée selon :

$$b_i = \sum_{y=1}^{n} b_{effi}$$

Où b_i : largeur unitaire de chaque section partielle composant le panneau nervuré (mm).

$$EI_{ef} = E_{flat,mean}.I_{ef}$$

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^{2}(E_i I_i + E_i A_i a_i^2)$$

Avec :

- A_i L'aire de la section transversale
- E_i le module moyen du matériau
- $I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$
- $a_1 = \frac{h_1+h_2}{2} - a_2$
- $a_2 = \frac{E_1 A_1 \times (h_1+h_2)}{2\times\sum_{i=1}^{2} E_i A_i}$

Les contraintes normales sont prises selon :

$$\sigma_{t,0,d}^{i} = \frac{E_i a_i M_d}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,0,d}^{i} = \frac{0{,}5 \times E_i h_i M_d}{(EI)_{ef}}$$

Vérification de la traction et flexion combinées des couches de bois :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}^{i} + \sigma_{m,0,d}^{i}}{f_{m,0,d}^{i}} \leq 1$$

Vérification du cisaillement :

$$\tau_{2,max} = \frac{0{,}5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (EI)_{ef}} V_d \leq f_{v,d,2}$$

Avec $f_{v,d,2}$ la résistance en cisaillement de l'élément *2* (nervure).

La résistance au cisaillement du CLT est vérifiée suivant la formule :

$$\tau_1 = \frac{E_1 m_{s,1}}{b_1 (EI)_{eff}} V_d \leq f_{v,d,1}$$

Avec :

- E_1 le module d'élasticité de l'élément *1* (CLT).
- $m_{s,1}$ me moment statique de l'élément *1* (CLT).
- b_1 la largeur de l'élément *1* (Largeur efficace du CLT).
- $f_{v,d,1}$ la résistance en cisaillement de l'élément *1* (CLT).

La résistance en cisaillement du joint de colle est également vérifiée :

- Au niveau de l'élément 2 (nervure en bois lamellé-collé) :

$$\tau_{colle,2-1} = \frac{E_1 A_1 \left(\frac{h_2}{2} - a_2\right)}{b_2 (EI)_{ef}} V_d \leq \min\left(f_{v,d,1}, f_{v,d,2}\right)$$

- Au niveau de l'élément 1 (panneau de CLT) :

$$\tau_{colle,1-2} = \frac{E_1 A_1 \left(\frac{h_2}{2} - a_2\right)}{(b_2 + 2\times e)(EI)_{ef}} V_d \leq f_{R,v,d,1}$$

Avec :

- *e* l'épaisseur du pli du CLT en contact avec le joint de colle.
- $f_{R,v,d,1}$ la résistance en cisaillement roulant des lamelles constituant le CLT.

1.4.1.4. Vérification à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient $\psi_2 k_{def}$ approprié, puis additionnées pour les vérifications.

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + \psi_2 k_{def}}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + \psi_2 k_{def}}$$

Avec $\Psi_2 = 1$ pour les charges permanentes.

1.4.1.5. Vérification ELS

1.4.1.5.1. Caractéristique mécanique instantanée

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au §1.4.1.3 de cette présente annexe.

1.4.1.5.2. Caractéristique mécanique finale

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient k_{def} approprié, puis additionnées pour les vérifications.

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + k_{def}}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}}$$

Avec G_{mean} le module de cisaillement moyen des éléments constituants les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib .

1.4.1.5.3. Coefficient de fluage : k_{def}

La flèche due au fluage est calculée en appliquant à la part des charges de longue durée le coefficient k_{def} adéquat de l'Eurocode 5. Le coefficient k_{def} à prendre en compte pour le fluage est celui défini dans le §2.3.4 du Dossier Technique.

1.4.1.5.4. Vérifications de flèche

Les vérifications des flèches doivent être menées en considérant d'une part la flèche générée par le moment fléchissant en considérant la rigidité efficace de l'élément lamellé-croisé et d'autre part la flèche générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du caisson Sylva™ CLT Rib.

1.4.1.5.5. Vérifications flèche totale – absolue

La flèche finale ne pourra excéder *L/250* en travée et L/125 en console où *L* est la portée du caisson entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib .

1.4.1.5.6. Vérifications flèche instantanée

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder *L/300* et L/150 en console en travée où *L* est la portée du caisson entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib .

1.4.1.5.7. Vérifications flèche active

On appelle flèche active la part des déformations du plancher risquant de provoquer des désordres dans un ouvrage considéré généralement supporté (par exemple : cloison, carrelage, …). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

Le "fléchissement actif" des planchers pouvant nuire à l'intégrité des cloisons maçonnées ou aux revêtements de sol fragiles comporte :

- Les déformations différées sous l'action du poids propre du plancher ;
- Les déformations totales dues aux charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles ;

- Les déformations différées sous l'action de toutes les charges permanentes ;
- Les déformations totales dues à la part quasi permanente des charges d'exploitation.

En l'absence de revêtement de sol fragile et de cloisons fragiles, la flèche active est limitée par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- L/350 pour L ≤ 7,00 m ;
- 1 cm + L/700 pour L > 7,00 m.

En présence de revêtement de sol fragile ou de cloisons fragiles, les prescriptions portant sur la limitation des flèches nuisibles du FD P18 717 sont adoptées, soit :

- L/500 pour L ≤ 5,00 m ;
- 0,5 cm + L/1000 pour L > 5,00 m.

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques long terme des panneaux Sylva™ CLT Rib.

Les caractéristiques des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib du présent Avis Technique permettent de répondre aux exigences des chapes ou revêtements de sol visant les planchers bois spécifiés :

- Dans le DTU 51.3 pour la pose des revêtements de sol ;
- Dans les Recommandations Professionnelles RAGE « Chapes et dalles sur planchers bois – neuf » pour la mise en œuvre des chapes relevant du DTU 26.2 ;
- Dans le DTU 51.3 pour la mise en œuvre des chapes relevant des Avis Techniques visant le support bois.

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des charges ponctuelles.

1.4.1.5.8. Cas particulier des vérifications des flèches de porte-à-faux

La longueur des porte-à-faux sera limitée à 50% de la longueur de la travée adjacente d'équilibre. La flèche au droit des porte-à-faux est limitée à 2.L/K lorsque celle de la portée courante est limitée à L/K (où K est par exemple 500 pour la flèche active des planchers supports de revêtements de sols rigides), sans pour autant que la limite qui en résulte soit inférieure à 5 mm ou excède les limites de déformation (flèche ou déplacement) prévues par certains NF DTU.

Lors de la vérification il convient de prendre en considération :

- L'effet de la répartition variable des charges sur les différentes travées ;
- La compatibilité des déformations des ouvrages supportés (éléments de façade par exemple) ;
- Le comportement vibratoire du porte-à-faux.

1.4.1.6. Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontales

Dans les bâtiments comportant des planchers en panneaux Sylva™ CLT Rib , les diaphragmes de plancher se composent de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur. Les efforts de cisaillement dus aux charges horizontales que sont le vent et le séisme sont transmis par les organes d'assemblages.

La valeur des efforts à transmettre par ces assemblages est calculée en modélisant le diaphragme de plancher comme une poutre plate orientée perpendiculairement aux efforts horizontaux.

Le diagramme des efforts tranchants dans cette poutre peut être déterminé et les valeurs des réactions « aux appuis » de cette poutre correspondent aux efforts transmis aux murs supérieurs et inférieurs

Par ailleurs, l'effort horizontal F induit une flexion du diaphragme qui tend à solliciter en traction les joints entre les panneaux.

Ces efforts de traction sont repris conjointement par :

- Les organes d'assemblages entre panneaux de planchers ;
- Les systèmes de fixations assurant également le liaisonnement plancher / mur
- D'autres assemblages dédiés à la reprise de ces efforts.

Dans le cas de planchers reposants sur des murs composés de plusieurs panneaux, il est nécessaire de recréer un chainage en tête de mur.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Titulaire : Société Stora Enso Oyj
PL 309
FI – 00101 HELSINKI
Internet : www.storaenso.com

2.1.2. Autres dénominations commerciales

Dénomination commerciale	Distributeur
Stora Enso Sylva™ CLT Rib	Stora Enso Oyj

2.1.3. Mise sur le marché

En application du Règlement (UE) n° 305/2011, le produit fait l'objet d'une déclaration des performances (DdP) établie par le fabricant sur la base de l'Evaluation Technique Européenne ETA-20/0893 daté du 13/10/2023.

Les produits conformes à cette DdP sont identifiés par le marquage CE.

2.1.4. Identification

Les éléments Sylva™ CLT Rib sont marqués de manière à pouvoir être facilement identifiés. Avec notamment une étiquette reportant :

- Le logo Stora Enso ;
- Le numéro du certificat de constance des performances du marquage CE ;
- Le numéro de l'Evaluation Technique Européenne ;
- Les deux derniers chiffres de l'année où le marquage CE a été apposé ;
- Les essences de bois utilisées ;
- Type de colle utilisée ;
- Lieu de fabrication ;
- La référence du caisson (N° de position, type de caisson, épaisseur de panneaux, dimensions des nervures) ;
- Masse du caisson ;
- Signature qui confirme le contrôle qualité.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont des produits de structure fabriqués en usine marqués CE. Ils sont composés d'une membrure supérieure et/ou inférieure en panneau CLT by Stora Enso (Cross Laminated Timber) sous Avis Technique et de nervures en bois lamellé-collé ou bois massif reconstitué conformes à la norme NF EN 14080.

Les membrures (supérieure et inférieure) et la nervure sont collées l'une à l'autre à l'aide d'un adhésif spécifique polyuréthane mono-composant. La pression de collage est réalisée en usine par organes métalliques dédiés ou sous presse (hydraulique ou mécanique) assurant une pression suffisante. Les connecteurs métalliques utilisés pour appliquer cette pression sont sous ETA. L'interface entre le panneau CLT et les nervures est réalisée à l'aide d'un collage structural, permettant ainsi de constituer une section composée structurale capable de reprendre l'ensemble des efforts appliqués tant dans son plan principal que perpendiculairement à celui-ci.

Il possible d'avoir un porte-à-faux à condition de limiter la longueur de ce dernier à 50% de la longueur de la travée adjacente d'équilibre (cf. § 1.4.1.5.8).

Le plancher ainsi constitué assure aussi les fonctions de diaphragme et de tirant-buton pour la reprise des efforts horizontaux et la redistribution sur les points durs.

L'utilisation de caissons nervurés Sylva™ CLT Rib adjacents et liés, dont le rapport des portées n'est pas compris entre 0,9 et 1,10 et, d'une manière générale toute situation pouvant conduire à des cisaillements verticaux importants à la liaison entre deux panneaux successifs ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis Technique. Des rapports de portées différents peuvent être admis à la condition de réaliser une étude définissant le liaisonnement entre les éléments permettant de reprendre le cisaillement différentiel entre panneaux.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Panneaux (CLT)

Les panneaux CLT utilisés sont les panneaux CLT Stora Enso en accord avec le Document Technique d'Application n° 3.3/15-798 en cours de validité et l'ETA-14/0349.

Tous les panneaux CLT couverts par l'ETA-14/0349 sont valides pour l'application en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib.

2.2.2.1.1. Type d'essences utilisées

cf. § 2.4.1 du Document Technique d'Application n° 3.3/15-798 Stora Enso.

2.2.2.1.2. Caractéristiques géométriques des planches

cf. § 2.4.1 du Document Technique d'Application n° 3.3/15-798 Stora Enso.

2.2.2.1.3. Caractéristiques mécaniques des planches

cf. § 2.4.1 du Document Technique d'Application n° 3.3/15-798 Stora Enso.

La classe mécanique des planches utilisées est déterminée selon les normes EN 1912 et EN 338.

2.2.2.2. Nervures

Les nervures sont réalisées en bois lamellé-collé ou bois massif reconstitué marqué CE, en accord avec la norme EN 14080 [1]. La géométrie d'une nervure est de forme rectangulaire avec une hauteur minimale de 100 mm, et une largeur minimale de 60 mm.

Les lamelles en bois utilisées pour la réalisation des lamellés-collés sont en épicéa, sapin, pin.

Pour les nervures en bois lamellé-collé, les classes mécaniques GL 20h à GL 32h et GL 20c à GL 32c sont autorisées.

2.2.2.3. Colles des panneaux CLT

cf. § 2.4.2 du Document Technique d'Application n° 3.3/15-798 Stora Enso. Les colles utilisées ne contiennent pas de formaldéhydes et sont conformes aux normes NF EN 301, NF EN 302 ou NF EN 15425.

2.2.2.4. Colle pour l'assemblage des nervures aux membrures

Les colles utilisées ne contiennent pas de formaldéhydes et sont conformes à la norme NF EN 15425 ou à la norme NF EN 301.

Les colles formulées à base de résine polyuréthane (1-K PUR) de type I selon la NF EN 15425 permettent un usage structural des éléments en intérieur et en extérieur pour les classes de service 1,2 et 3 suivant la NF EN 1995-1-1.

Un contrôle qualité spécifique est systématiquement appliqué et tous les éléments importants lors du collage structural sont vérifiés :

- Quantité de colle ;
- Température et taux d'humidité des bois ;
- Différence du taux d'humidité entre le CLT et la nervure ;
- Température et humidité relative dans l'atelier de production, etc.

2.2.2.5. Vis d'assemblage entre caissons adjacents

Les vis utilisées pour le couturage des Sylva™ CLT Rib adjacents sont à filetage total ou à double filetage et doivent être couvertes par une ETE. (cf. §2.3.10).

2.2.3. Description des caissons nervurés

2.2.3.1. Géométrie

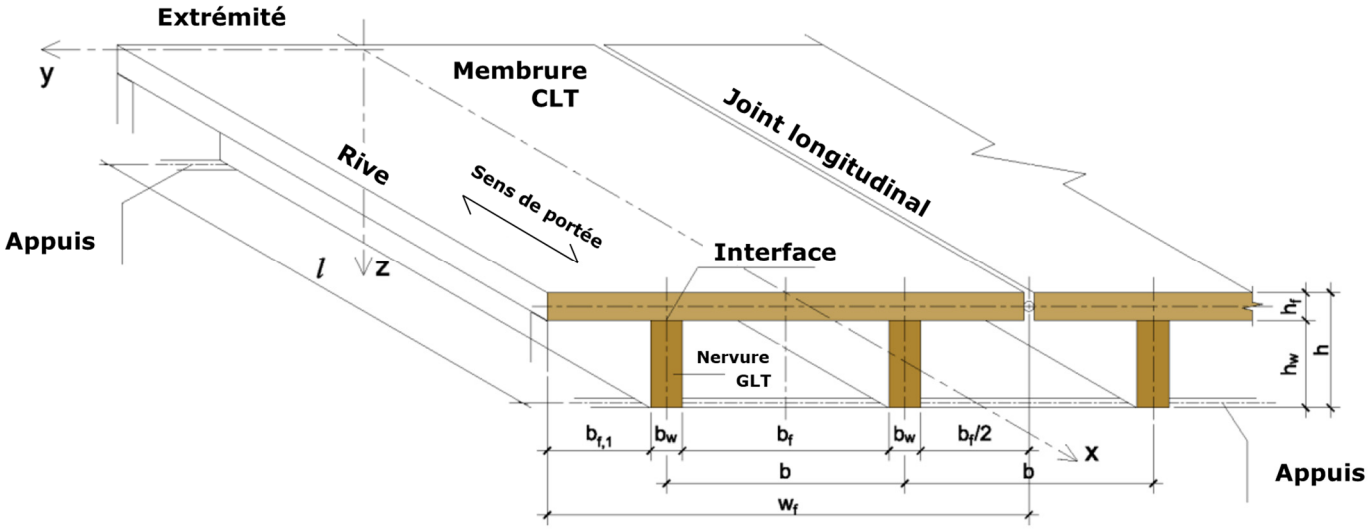


Figure 2: Vue d'ensemble du système Sylva™ CLT Rib

Un élément en caisson nervuré est limité par les dimensions des panneaux CLT :

Dimensions des panneaux CLT	
Largeur totale	jusqu'à 3,50 m
Longueur totale	jusqu'à 16,00 m
Epaisseur des panneaux	Composition des plis en accord avec l'ETA 14/0349. Epaisseurs selon l'ETA-20/0893.
Orientation	les plis extérieurs du panneau CLT doivent avoir le même sens de fil que les nervures en lamellé-collé. C'est-à-dire qu'ils doivent être orientés dans la même direction.
Dimensions des nervures	
Nombre	2 à 6 nervures (entraxe variable)
Longueur	égale à la portée libre (moins la longueur d'appui pour les appuis par membrure supérieure CLT – cf. § 2.2.4)
Largeur	forme rectangulaire, et largeur minimale de 60 mm.
Hauteur	sur un même panneau, hauteurs identiques de toutes les nervures suivant le dimensionnement. hauteur minimale de 100 mm. entailles des nervures possible.

Les nervures de rives peuvent être alignées ou déportées par rapport à la rive du panneau CLT.

Trois types de caissons nervurés sont possibles :

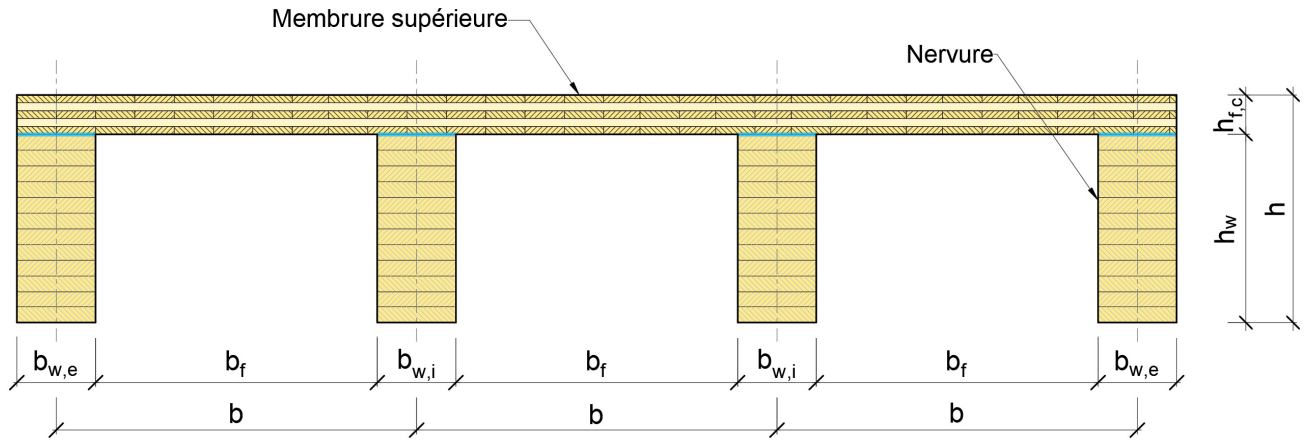


Figure 3: Sylva™ CLT Rib – CLT au-dessus des nervures - Caisson ouvert (Open type)

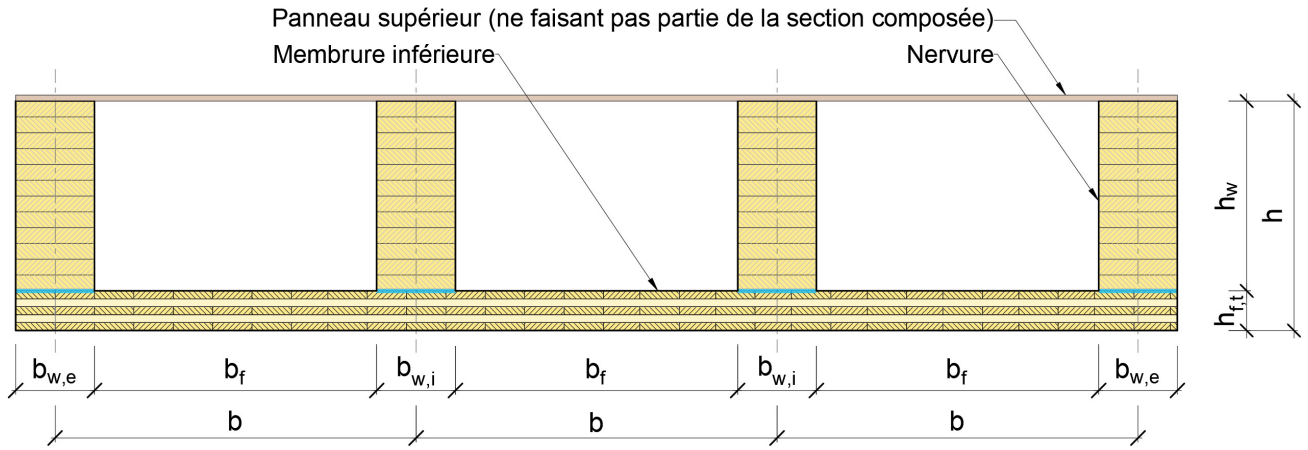


Figure 4: Sylva™ CLT Rib – CLT au-dessous des nervures - Caisson inversé (Inverted type)

Dans le cas des caissons inversés, 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 supérieur du plancher pour reprendre les complexes de revêtements de sol.

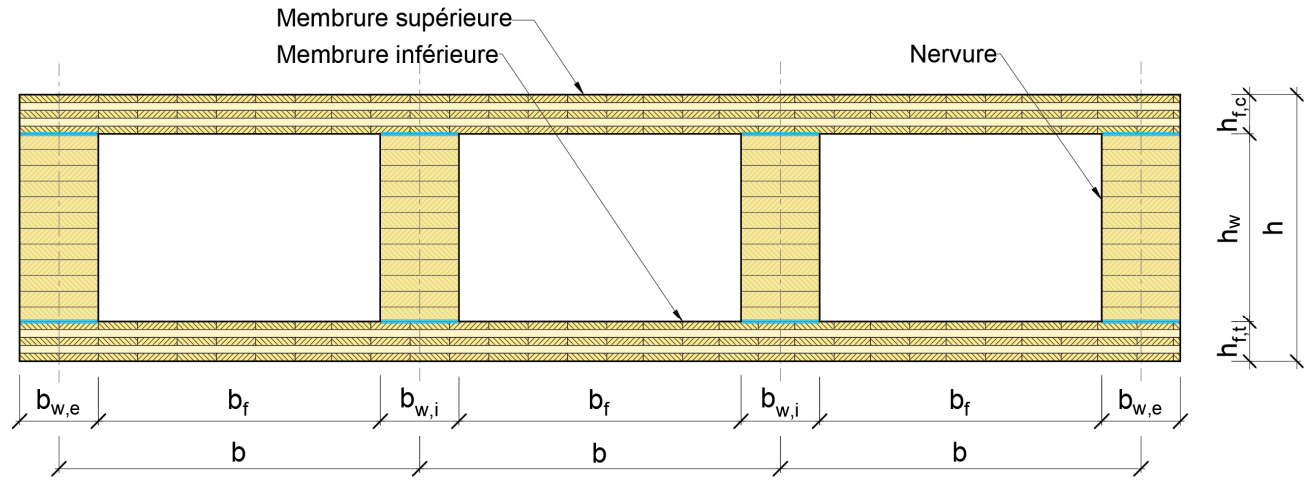


Figure 5: Sylva™ CLT Rib - CLT au-dessus et au-dessous des nervures - Caisson fermé (Closed type)

2.2.3.2. Extrémités avec appui biaisé en plan

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib avec appuis biaisés en plan peuvent être conçus comme des caissons à appuis non biaisés en plan en considérant chaque section composée séparément, avec des portées différentes en raison de l'angle d'appui.

La géométrie d'une membrure est de forme rectangulaire ou avec un angle de coupe biaise à son extrémité en plan. Généralement, les caissons nervurés sont rectangulaires.

Les dispositions données ne sont valables que pour des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib avec des nervures orientées parallèlement à la direction principale du fil des plis extérieurs du CLT.

Pour les membrures de forme irrégulière, le dimensionnement doit être effectué en utilisant la distance la plus longue et la plus critique entre les lignes d'appuis comme portée. Celle-ci doit toujours être mesurée parallèlement aux nervures (cf. Figure 6).

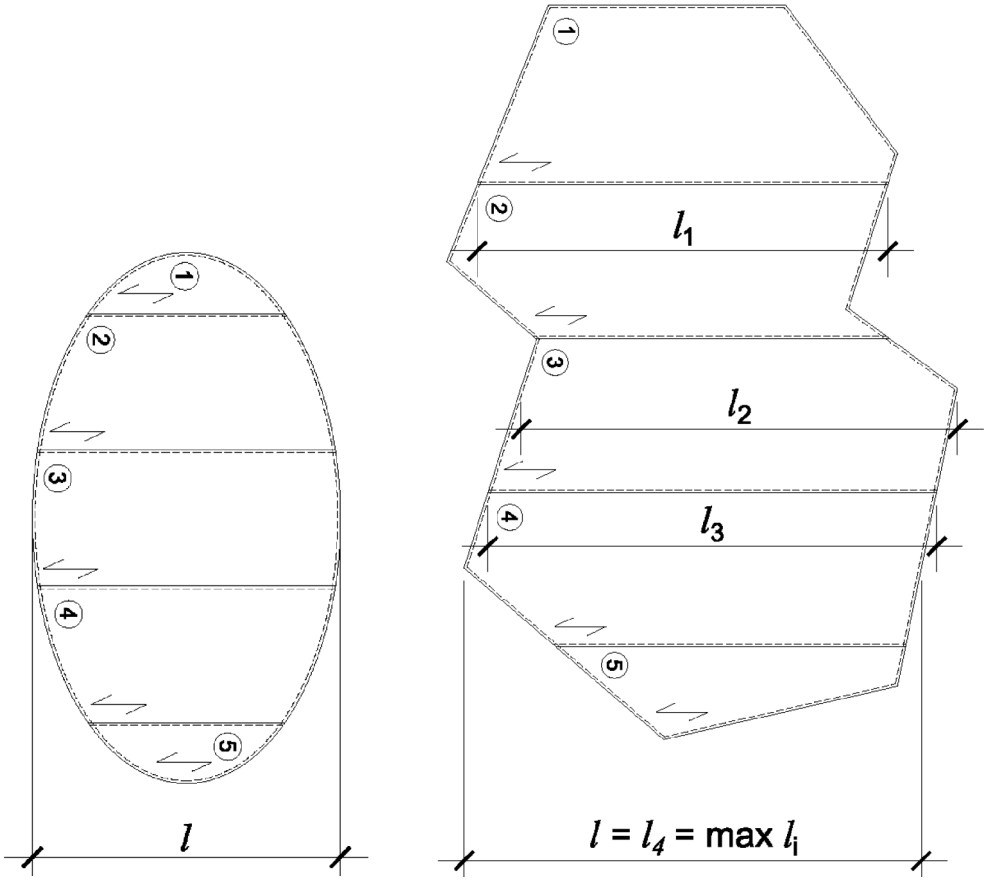


Figure 6: Membrures de forme elliptique (gauche) et irrégulière (droite)

2.2.3.3. Tolérances

Dimension		**Tolérance [mm] ou [%]**
Hauteur du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib	h_w (=$h_{nervure}$) ≤ 400mm	-2 / +4 mm
	h_w (=$h_{nervure}$) > 400mm	-0.5%·h / +1%·h
Largeur du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib		-2 / +2 mm
Longueur du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib		± 5 mm

Tableau 1 : Tolérances des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib

Note : Les tolérances du caisson sont données sur la base d'un taux d'humidité de référence de 10 ± 2%.

h_w étant la hauteur de nervure et h étant la hauteur totale du caisson.

2.2.4. Types d'appuis des caissons nervurés

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib doivent être supportés aux appuis soit en reposant sur le matériau support en appui simple, soit au moyen d'une pièce d'appui qui fournira le support adéquat (appui sur muralière d'extrémité, cornière métallique, ferrure mécano-soudée, etc.).

Il est nécessaire de prévoir un jeu pour la mise en place des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib lors de la phase chantier. La valeur de ce jeu dépend des tolérances des caissons et de l'environnement dans lequel il est mis en œuvre. Ce jeu permet également de gérer les variations dimensionnelles des composants qui constituent le caisson. Ainsi, pour considérer une largeur d'appui minimum, il est nécessaire d'ajouter à la largeur d'appui calculée, les jeux fonctionnels. La largeur d'appui d'un caisson nervuré Sylva™ CLT Rib se calcule de manière à reprendre les efforts sur appuis par contact sans dépasser la capacité résistante en compression perpendiculaire au fil des nervures et de la membrure inférieure éventuelle, et de respecter les règles de pince de l'organe d'assemblage du caisson à son support. À noter que la résistance à la compression transversale sur appui dépend de la longueur d'appui de la nervure ou du panneau sur le support. Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent être mis en œuvre avec les types d'appuis simples et les appuis par membrure CLT supérieure lorsqu'elle est présente :

2.2.4.1. Appuis simples

Un caisson ouvert est appuyé sur la nervure dont la résistance sur appui est vérifiée conformément au §2.3.8.1.1, Eq. 116 et 117.

Un caisson inversé ou fermé est appuyé :

- Soit sur la membrure CLT inférieure (de longueur identique à celle de la nervure) dont la résistance sur appui est vérifiée conformément au §2.3.8.1.1, Eq. 118 et 119.
- Soit sur la nervure (la membrure CLT inférieure étant plus courte que la nervure) :
  - La résistance sur appui de la nervure est vérifiée conformément au §2.3.8.1.1, Eq. 116 et 117, et

La liaison entre la membrure CLT inférieure est renforcée par vis dans les mêmes conditions que l'appui par membrure CLT supérieure et vérifiée conformément au §2.3.8.3.1.

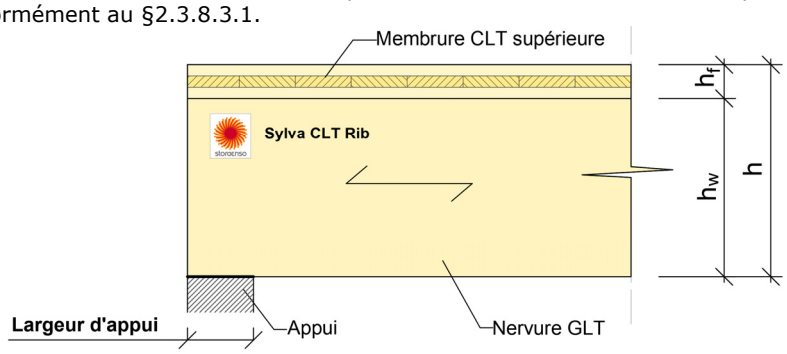


Figure 7: Appui simple sur nervure (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

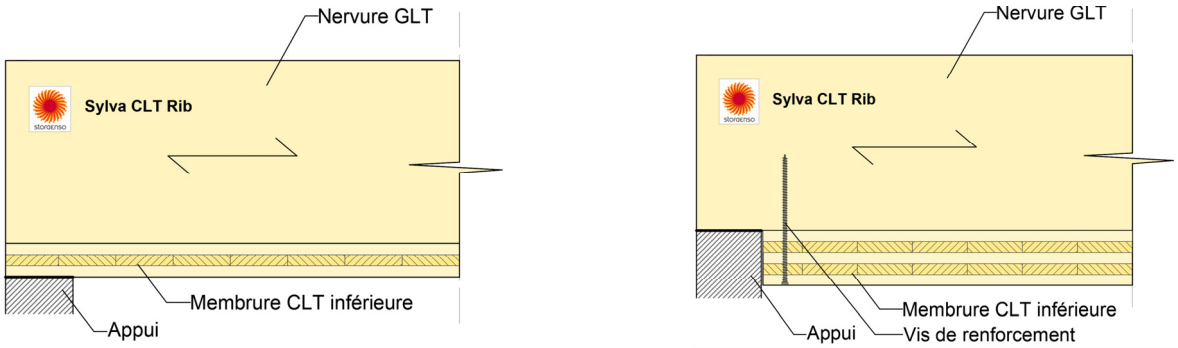


Figure 8: Appui simple sur membrure CLT inférieure et appui simple sur nervure (ajout platelage bois conformément au DTU 31.2) (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

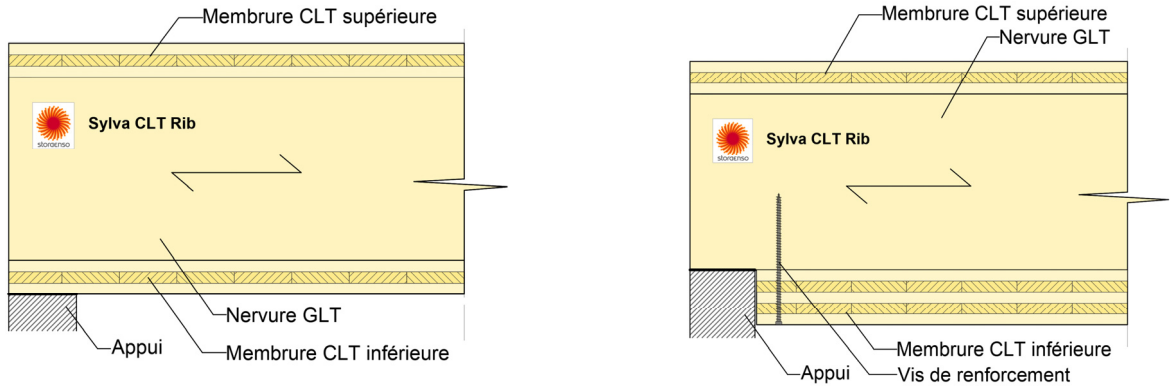


Figure 9: Appui simple sur membrure CLT inférieure et appui simple sur nervure (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

Note : Dans le cas du caisson nervuré inversé et fermé avec appui simple sur nervure, la membrure inférieure qui est plus courte que la nervure est considérée comme une entaille et doit être renforcée par une vis de renforcement sous ETE et visant la résistance à l'arrachement dans le bois lamellé collé.

Les dispositions d'implantation des vis de renforcement sont présentées au §2.3.8.3.1 du dossier technique.

2.2.4.2. Appuis par membrure CLT supérieure

L 'appui par la membrure supérieure permet de supporter le caisson nervuré uniquement par la membrure supérieure. Ce type d'appui nécessite la mise en place de vis de renforcement en usine uniquement.

La membrure supérieure est connectée aux nervures avec des vis de renforcement structurelles au niveau des appuis qui vont reprendre la réaction d'appui axialement en traction. Des vis de renforcement perpendiculaires ou inclinées peuvent être envisagée afin que les vis travaillent en traction.

La procédure de dimensionnement de cet assemblage est décrite dans le § 2.3.8.3 du présent dossier technique.

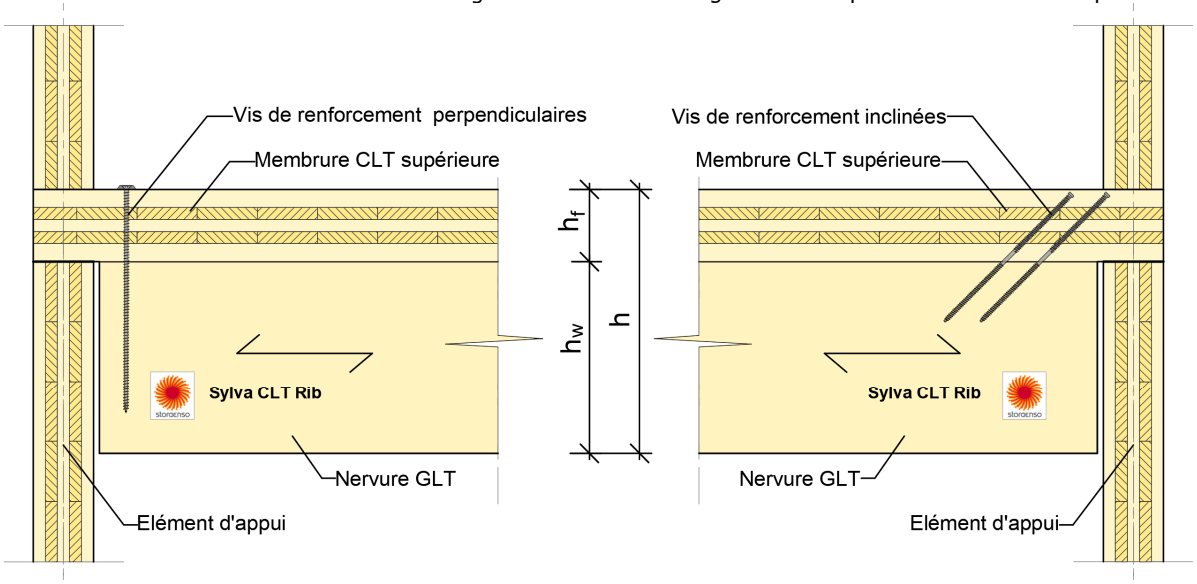


Figure 10: Appui continu par la membrure supérieure avec renforcement par vis – Caisson nervuré ouvert (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

Note : La configuration en caisson nervuré fermé est également possible.

D'autres configurations et détails constructifs sont présentés au §2.11 en annexe du présent dossier technique.

2.2.4.3. Appuis sur support bois

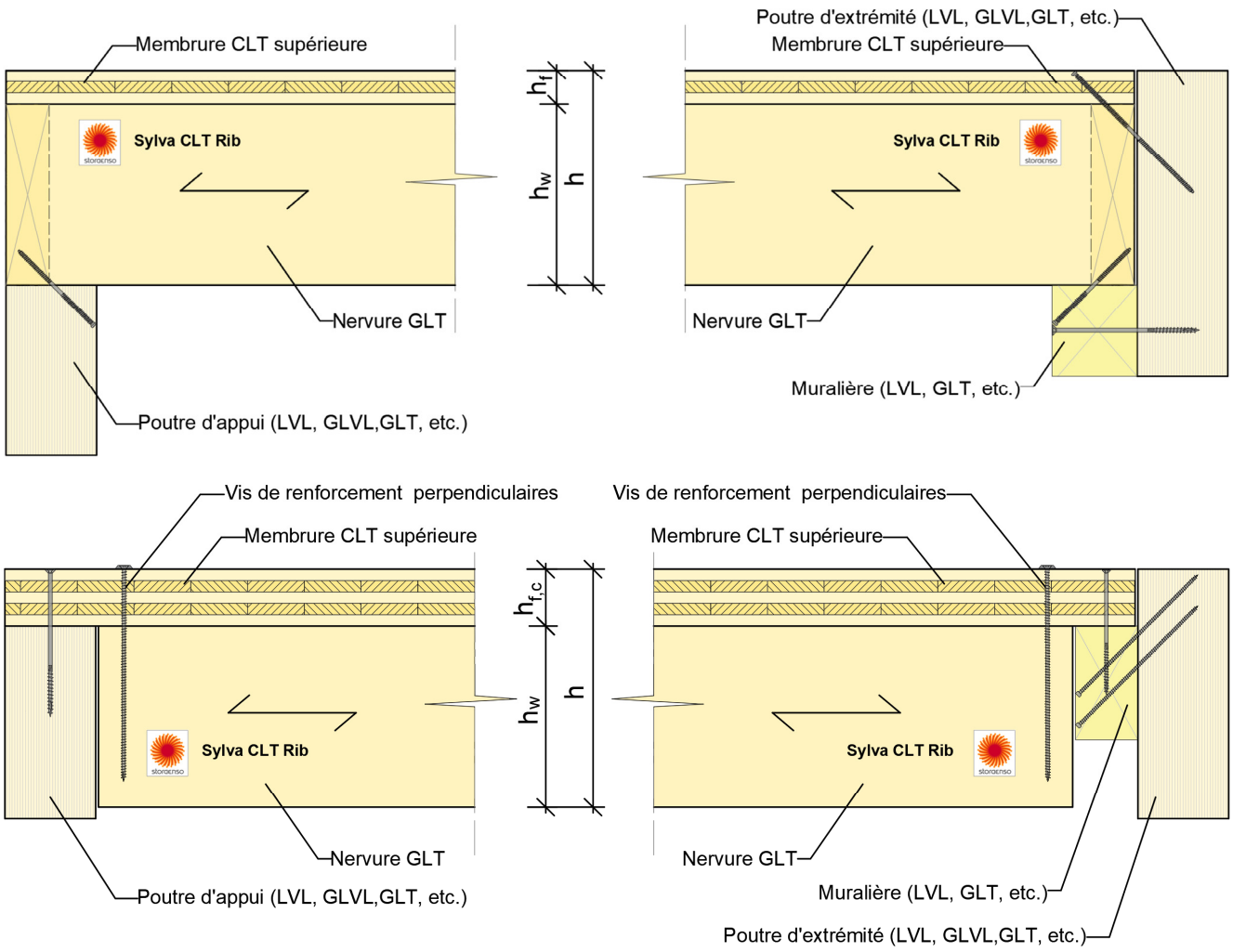


Figure 11: Appui simple sur poutre bois porteuse d'extrémité

D'autres configurations et détails constructifs sont présentés au §2.11 en annexe du présent dossier technique.

2.2.4.4. Appuis sur support métallique ou connecteur métallique

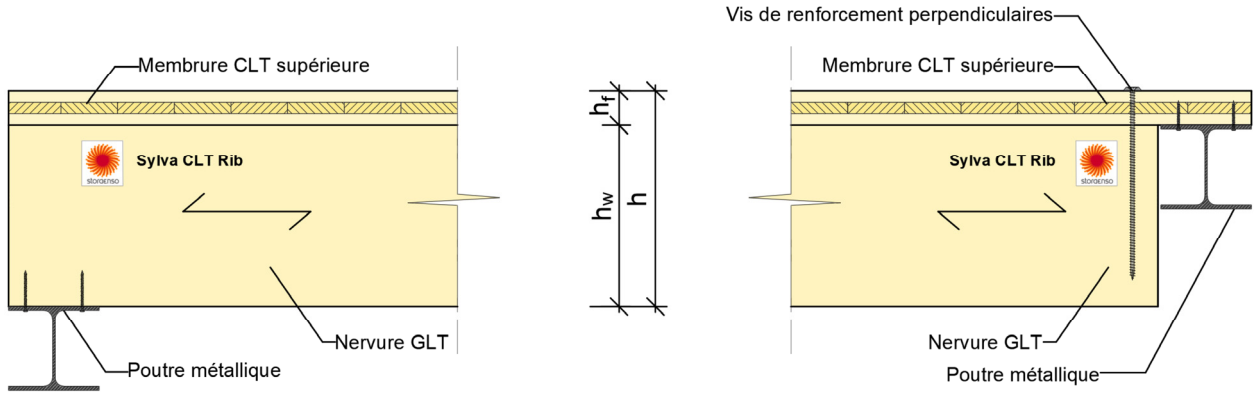


Figure 12: Appui sur poutre métallique

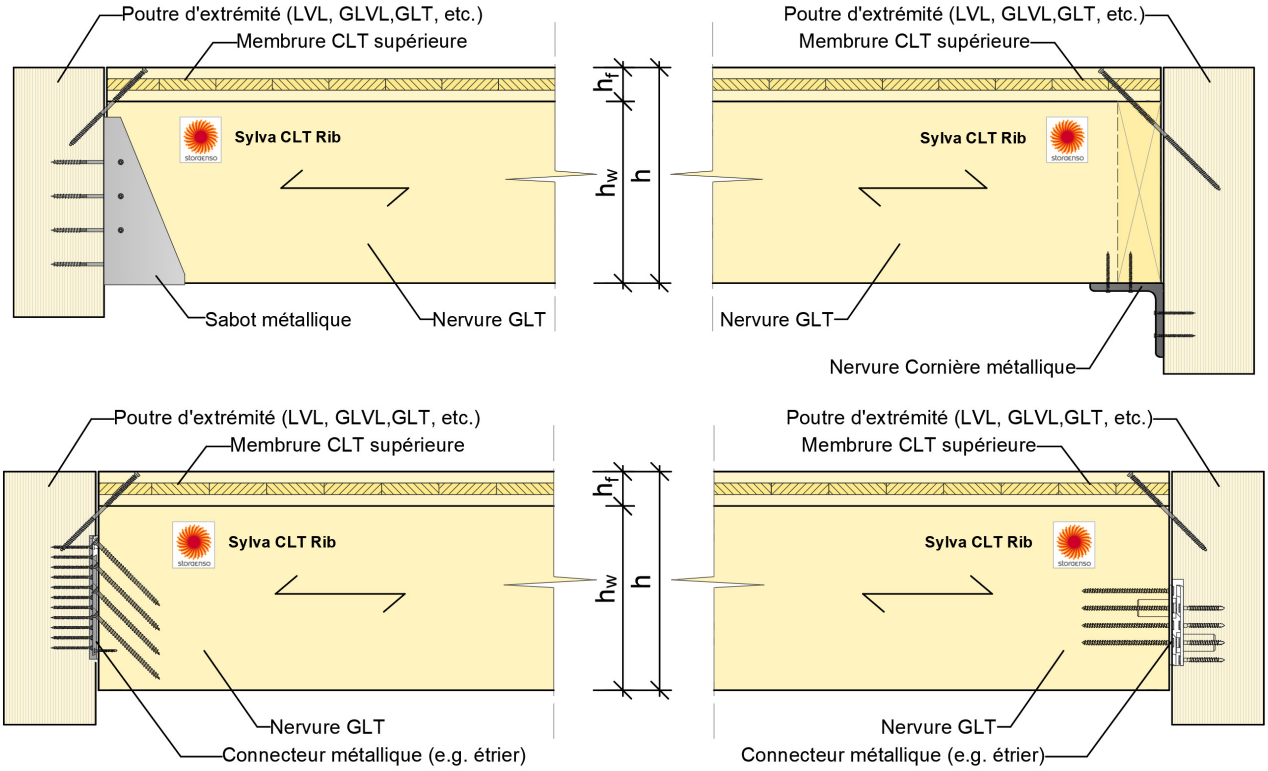


Figure 13: Appui individuel avec connecteur métallique par nervure (e.g. étrier en âme intérieure)

Note : La charge verticale issue du plancher caisson nervuré est transférée par les nervures directement aux appuis via des connecteurs métalliques adaptés (des exemples typiques sont présentés ci-dessus), ce qui permet d'éviter les cas de compression perpendiculaire au fil dans la plupart des cas. A l'exception de la Figure 12 partie droite où l'appui se fait uniquement par la membrure supérieure avec renforcement.

D'autres configurations et détails constructifs sont présentés au §2.11 en annexe du présent dossier technique.

2.2.4.5. Appuis sur support béton

Les caissons nervurés doivent être fixés mécaniquement au support béton à chaque appui au moyen de connecteurs métalliques, fixés aux caissons au moyen d'organes de fixation et ancrés au support béton au moyen de chevilles de fixation qui doivent bénéficier d'une ETE.

Il est recommandé que l'appui soit réalisé par interposition d'une lisse d'appui en bois ou dérivés du bois, elle-même fixée au support béton, et formant alors pour le caisson un appui sur support bois. La lisse basse d'appui doit respecter les prescriptions du NF DTU 31.2 pour ce type de support, notamment quant aux dispositions relatives à la durabilité.

Le caisson nervuré ou la lisse basse, comme toute pièce de bois, doivent être protégés de tout contact direct avec le support béton par des barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase) conforme aux prescriptions du § 6 du NF DTU 31.2 partie 1-2.

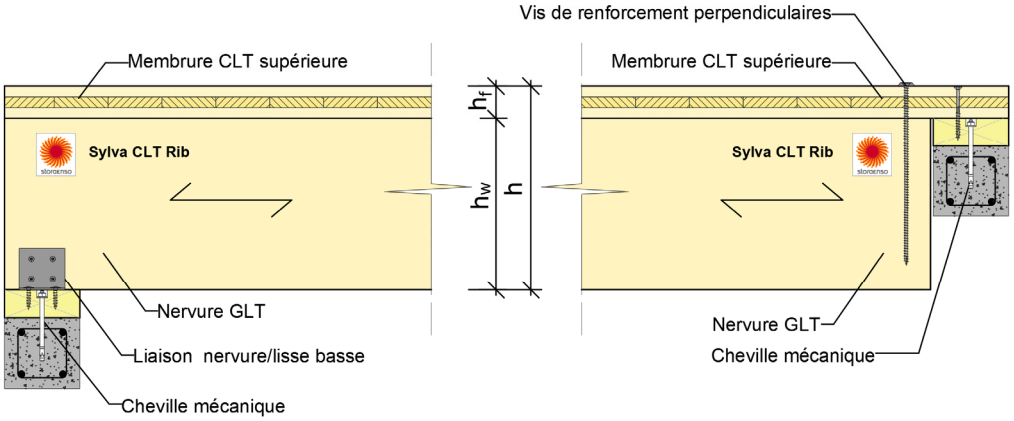


Figure 14: Appuis sur support béton (caisson nervuré ouvert)

Note : Plaque reprenant les efforts de soulèvement et horizontaux (vent et sismique) non représentée.

D'autres exemples et détails constructifs sont présentés au §2.11 en annexe du présent dossier technique.

2.2.4.6. Entretoises

Au niveau des appuis :

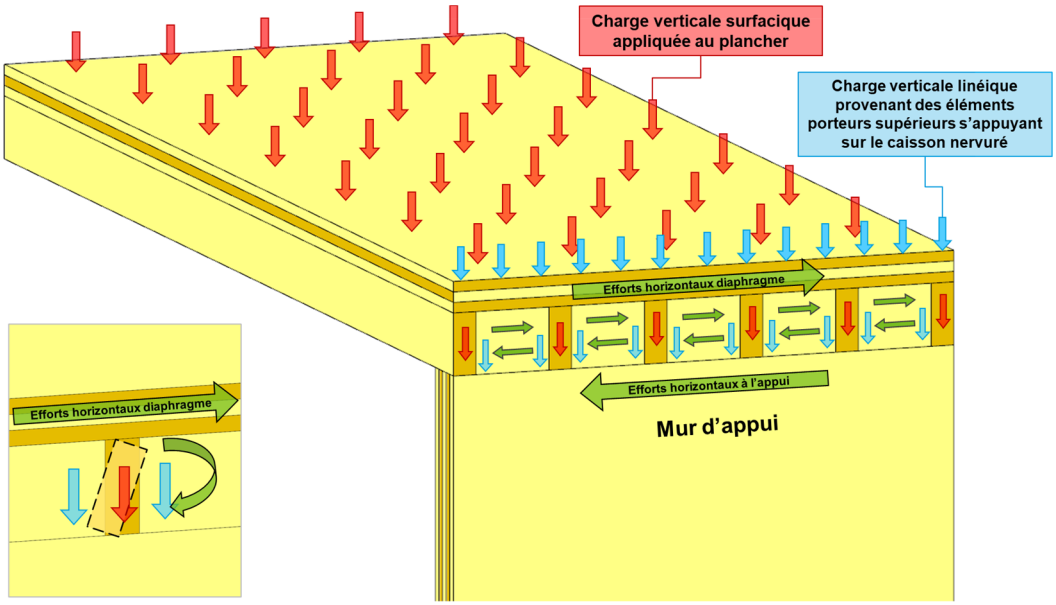


Figure 15: Transfert d'efforts au niveau d'un appui simple de caisson nervuré avec entretoises.

L'ajout d'entretoises au niveau des appuis simples est nécessaire dans deux cas de figure :

1) Lorsqu'un élément supérieur exerce une force linéique verticale (bleu) sur le dessus, par exemple le mur du niveau supérieur qui applique une compression linéique au niveau de l'appui. Dans ce cas, les entretoises peuvent reprendre les charges verticales provenant de la compression de l'élément supérieur sur la ligne d'appui et les faire transiter dans l'élément porteur inférieur.
2) Lorsque le caisson nervuré repose sur l'appui simple et est utilisé en tant que diaphragme horizontal, les efforts horizontaux provenant de l'élément supérieur (diaphragme vertical) qui transitent au niveau de l'appui d'extrémité passent par les entretoises disposées entre nervures jusque dans l'élément porteur inférieur. Ainsi, les entretoises en extrémités ont pour rôle de transférer les efforts horizontaux (vert) de manière continue du niveau supérieur au niveau inférieur en empêchant la rotation des nervures dans la direction transversale. (La Figure 15 illustre le rôle des entretoises au niveau des appuis).

Les entretoises empêchent la rotation des nervures dans la direction transversale. Ces entretoises ont au maximum la même hauteur que les nervures et sont dans la direction transversale des caissons nervurés.

Au niveau de la travée :

Lorsque l'analyse vibratoire en états limites de services ne répond pas aux exigences, il est recommandé d'ajouter des rangées d'entretoises. Cette rangée agira comme une poutre dans le sens transversal et aidera à répondre aux exigences de flèche sous une charge ponctuelle de 1kN. Les entretoises entre les nervures peuvent réduire la flèche sous des charges ponctuelles, et doivent être bien fixées aux nervures pour donner la rigidité transversale souhaitée. À cet effet, deux rangées d'entretoises proches du centre de la travée est une solution efficace pour les planchers à longues travées.

Deux rangées d'entretoises espacées de 1 m au centre de la travée sont recommandées pour une portée de L> 4 m. La rigidité des rangées de contreventement (entretoises) peut être estimée conformément à la norme EN1995-1-1 et est divisée par la largeur du plancher B.

Les entretoises sont aussi utilisées pour assurer le rôle d'anti-déversement des nervures dans le cas de caisson nervuré inversé sans platelage bois par-dessus.

2.2.5. Caractéristiques physiques des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib

- Masses volumiques :

Les masses volumiques à prendre en compte pour le CLT Stora Enso sont indiquées dans le Document Technique d'Application n°3.3/15-798_V5.

Pour le transport et le levage il est conseillé de prendre une masse volumique de 500 kg/m³.

Les masses volumiques à prendre en compte pour les nervures (selon norme EN 338) sont en fonction de la classe choisie (GL 20 à la classe GL 32).

- Variation dimensionnelle :

Type de bois et essences	Gonflement ou retrait en % pour 1% de variation d'humidité du bois	
	Perpendiculaire au sens du fil ou dans le plan du panneau	Parallèle au sens du fil ou dans le plan du panneau
Nervures (Epicéa, pin)	0,24	0,01
CLT (Epicéa, pin)	0,24	0,02

Tableau 2: Coefficients de variation dimensionnelles des caissons nervurés

- Coefficient de conductibilité thermique :

λ = 0,12 W/m.K pour le CLT en accord avec l'ETA-14/0349

λ = 0,13 W/m.K pour le lamellé collé en accord avec la norme EN ISO 10456

- Capacité calorifique massique :

c = 1,60 kJ/kg.K.

- Résistance à la migration de vapeur d'eau :

μ = 20-50 g/m.h.mm Hg

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Dispositions générales

La conception et le calcul des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont à la charge d'un bureau d'études techniques compétent qui doit également fournir un plan de pose complet.

Les charges d'exploitation à prendre en considération dans les calculs sont celles précisées par la norme NF EN 1991-1-1 et son annexe nationale moyennant les limitations décrites au §1.2.1 du présent Avis.

Les ouvrages doivent être dimensionnés et vérifiés par référence aux normes de la série NF EN 1995 moyennant les limitations décrites au §1.2.1.

Compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents au moyen des assemblages courants, les planchers composés de plusieurs panneaux adjacents doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur quatre côtés.

Les caissons nervurés peuvent être soumis à un chargement coplanaire (dans leur plan) et/ou hors plan.

La conception, le calcul et la réalisation s'effectuent conformément à la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale et en tenant compte des dispositions énoncées dans les paragraphes ci-après.

2.3.2. Généralités sur le calcul du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib

STORA ENSO prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre en mettant notamment à disposition des acteurs de la construction une liste de bureau d'études techniques disposant de l'expertise requise pour le dimensionnement des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib en respect des prescriptions de l'annexe du présent Avis et des normes en vigueur.

La société Stora Enso Oyj met à la disposition des acteurs de la construction une documentation technique dans laquelle figurent des abaques et des tableaux de pré dimensionnement ainsi que le logiciel de calcul statique « Calculatis® » de Stora Enso pour les éléments de structures en caissons nervurés Sylva™ CLT Rib. Le logiciel Calculatis n'a pas été évalué dans le cadre de cette demande.

Ces données sont utiles en phase d'avant-projet notamment mais ne dispensent pas de la réalisation d'un dimensionnement complet et précis des caissons nervurés dans l'ouvrage pour chaque projet par un bureau d'étude (liste disponible sur notre site internet).

En cas d'utilisation de revêtements de finition, il conviendra éventuellement de tenir compte de la déformation de ceux-ci. Ces couches de surface ne doivent cependant pas être prises en compte dans le calcul de la résistance mécanique et de la stabilité.

Les vérifications de la résistance sous l'effet du moment fléchissant et de l'effort tranchant peuvent être menées comme dit au §2.3.6.1 et 2.3.6.3, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} en fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §1.4.1.5. Il est tenu compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon l'Annexe 1 de la partie Avis.

Les vérifications de la résistance sous l'effet du moment fléchissant et de l'effort tranchant se composent des vérifications suivantes :

- Vérifications des contraintes normales et de flexion dans la membrure et les nervures. La rigidité efficace des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib étant calculée selon la méthode de la norme NF EN 1995-1-1 Annexe B ;
- Vérification du cisaillement aux interfaces membrure/nervures, dans la membrure et dans les nervures (selon §2.3.6.3) ;
- La reprise des efforts de flexion transversale entre nervures parallèles doit être justifiée en tenant compte de la seule section des membrures supérieures (la rigidité des chapes peut être prise en compte dans le calcul des rigidités du plancher, néanmoins sans effet composite).

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon le §2.3.8.

2.3.3. Charges

Le caisson nervuré Sylva™ CLT Rib est uniquement soumis à une charge statique (e.g. charges permanente, d'exploitation, de neige) et quasi-statique (chargement dérivé d'actions dynamiques, mais appliqué au système en tant que force statique) : (e.g. Charge de vent et sismique).

Les charges appliquées sont déterminées à partir des conditions du projet et des normes suivantes :

- NF EN 1991-1-1 et son Annexe Nationale pour les charges permanentes et charges d'exploitation ;
- NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale pour les charges de neige ;
- NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale pour les actions du vent ;
- NF EN 1991-1-6 et son Annexe nationale pour les actions durant l'exécution ;
- NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale pour les actions sismiques.

Les combinaisons de charges prises en compte sont celles définies dans la NF EN 1990 et son Annexe Nationale, complétées des prescriptions de la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

Les charges permanentes devront pour certaines vérifications être scindées en deux fractions, définies comme suit :

- Charge permanente initiale G_0 : la fraction des charges permanentes induites par le poids propre de la structure porteuse primaire, ainsi que par le poids propre des éléments présents avant les éléments de second-œuvre ;
- Charge permanente de second-œuvre G_1 : la fraction des charges permanentes induites par le poids propre des éléments de second-œuvre (plafond, revêtement de sol, …).

La charge uniformément répartie pour les cloisons légères fixes définie dans NF EN 1991-1-1, §5.2.2(2) et §6.3.1.2(8) est usuellement considérée comme charge de second-œuvre, sauf lorsque l'on peut être certain que lesdites cloisons seront installées avant les éléments de second-œuvre.

Dans les zones sismiques, le facteur de comportement des caissons nervurés utilisé pour le dimensionnement est limité aux structures non dissipatives ou faiblement dissipatives (q ≤ 1,5), définies conformément à l'Eurocode 8 (clauses EN 1.5-1 de l'EN 1998-1 : 2004). 8.1.3 b), et aux règles nationales applicables.

2.3.4. Coefficients

2.3.4.1. Coefficient partiel selon les propriétés du matériau

Le coefficient de sécurité partiel pour le panneau CLT et les nervures en lamellé-collé est en accord avec la norme EN 1995-1-1 [2] et l'annexe nationales applicable. Le coefficient de sécurité partiel appliqué est $\gamma_M = 1{,}25$.

Pour les vérifications accidentelles, $\gamma_M = 1{,}0$.

2.3.4.2. Facteur modificatif et de déformation

Pour tenir compte du comportement du Sylva™ CLT Rib vis-à-vis du taux d'humidité et de la durée de chargement, les calculs ELU sont réalisés en appliquant le facteur de modification de résistance k_{mod} défini dans la norme NF EN 1995-1-1– tableau 3.1. Le facteur modificatif à appliquer au CLT Stora Enso est celui du bois massif. Le taux d'humidité et la durée de chargement doivent être également choisi selon l'annexe nationale applicable.

Pour tenir compte du comportement du Sylva™ CLT Rib vis-à-vis du fluage, les calculs ELS sont réalisés en appliquant les facteurs de déformation k_{def} définis dans la norme NF EN 1995-1-1– tableau 3.2. Les valeurs retenues pour k_{def} sont celles des matériaux qui le constituent. Pour les membrures CLT, les valeurs retenues sont celles définies pour le contreplaqué.

La majeure partie de la rigidité en flexion provient des nervures, par conséquent l'application d'un k_{def} uniforme à l'ensemble du système est permise pour simplifier le calcul de la déformation due au cisaillement (Voir § 2.3.7.2.2). Dans ce cas, une moyenne géométrique du $\boldsymbol{k_{def}}$ est calculée comme suit :

$$k_{def} = \sqrt{k_{def,GLT} \cdot k_{def,CLT}} \qquad \text{Eq. 1}$$

Cependant, un résultat plus précis sera obtenu en appliquant le facteur k_{def} à chaque composant individuellement (section composée). Voir § 2.3.7.2.1, où une méthode précise est présentée. Les classes de service sont définies dans la norme EN 1995-1-1 [2].

2.3.4.3. Effet de dimension sur la résistance

L'effet de la dimension du bois lamellé-collé doit être pris en compte pour les nervures d'une hauteur h<600 mm dans le dimensionnement (cf. NF EN 1995-1-1, partie 3.3) [2]. Pour les éléments en flexion, il convient de multiplier la valeur caractéristique $f_{m,0,k}$ et $f_{t,0,k}$ par le facteur k_h où :

$$k_h = min \begin{cases} \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \\ 1{,}1 \end{cases} \qquad \text{Eq. 2}$$

h est la hauteur de la nervure [mm].

2.3.4.4. Résistance de calcul

Pour les calculs ELU, le calcul des résistances de calcul s'effectue conformément à la NF EN 1995-1-1 § 2.4.3.

2.3.4.5. États limites ultimes (ELU)

L'exigence est la suivante :

$$E_d \leq R_d \qquad \text{Eq. 3}$$

Où :

E_d est la valeur de calcul de l'action

R_d est la valeur correspondante de la résistance de calcul

En ce qui concerne le dimensionnement au feu, il convient d'employer la méthode de la section efficace donnée dans la norme NF EN 1995-1-2, et les règles données dans l'appréciation de laboratoire Stora Enso N° AL 18-234 [3]. Il a été justifié de l'intégrité du joint de colle entre le CLT et la nervure en situation d'incendie avec aucun glissement, de ce fait la théorie de la section composée rigide s'applique de la même manière que pour les calculs de rigidité à froid.

Des classements au feu et expertises ([4]; [5]; [6]; [7] ; [8]) issus de tests réglementés ([9]; [10]; [11] ; [12]) selon les normes EN 1363-1 2020:02 [13] et EN 1365-2 :2014-12 [14] sont également disponibles.

En ce qui concerne le dimensionnement tenant compte de sollicitations de type séisme il convient d'employer les méthodes décrites dans la norme NF EN 1998 (Eurocode 8) [15].

2.3.5. Propriétés de la section transversale

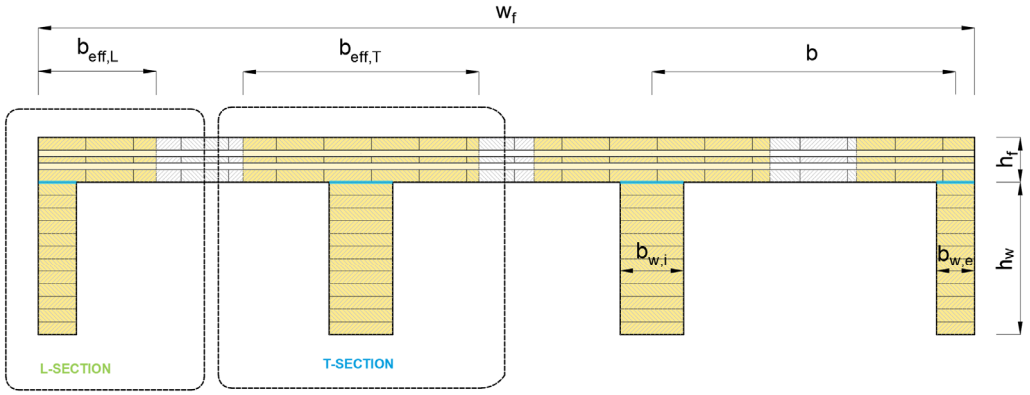
Les nervures sont collées aux membrures par collage structural. Par conséquent, le glissement entre ces composants est considéré comme nul (justifié par essais) et le paragraphe des poutres à âmes minces de l'Eurocode 5 (§ 9.1.1) s'applique. Leur rigidité efficace pour le calcul de la répartition des contraintes dans les éléments est calculée à partir de l'annexe B de la NF EN 1995-1-1 en considérant des liaisons entre éléments parfaitement rigides.

Dans ce paragraphe, des équations pour calculer la largeur efficace b_{ef} du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib sont données. Ces équations ont été dérivées au moyen de l'ajustement des données d'un modèle plus détaillé (élaborée par Holzbau Forschungs GmbH (TU Graz) [16]), et conduisent à des résultats sécuritaires pour b_{ef}.

2.3.5.1. Section efficace

Les caissons nervurés sont divisés en sous-ensemble de poutres en « T » pour les nervures centrales et en « L » pour les nervures de rive (caissons nervurés ouverts/inversés), et en « I » pour les nervures centrales et en « C » pour les nervures de rive (caissons nervurés fermés) - voir la figure ci-dessous. Chaque section est calculée individuellement.

Avec nervures de rives alignées :



Avec nervures de rives déportées :

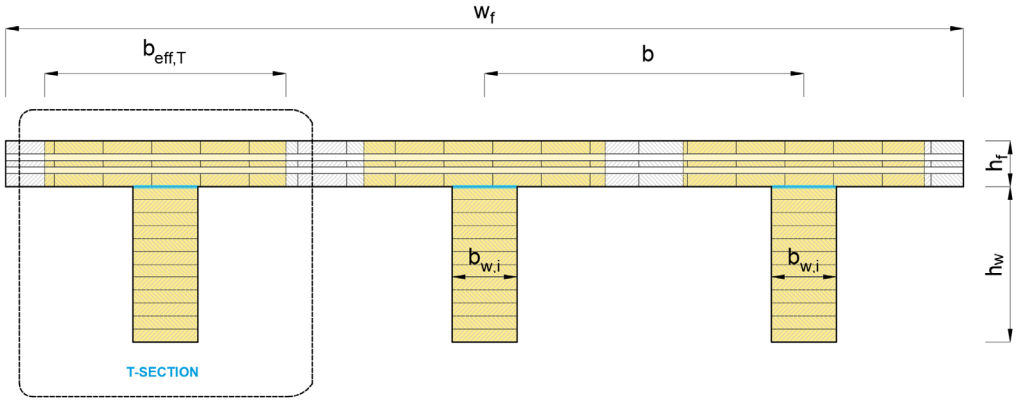
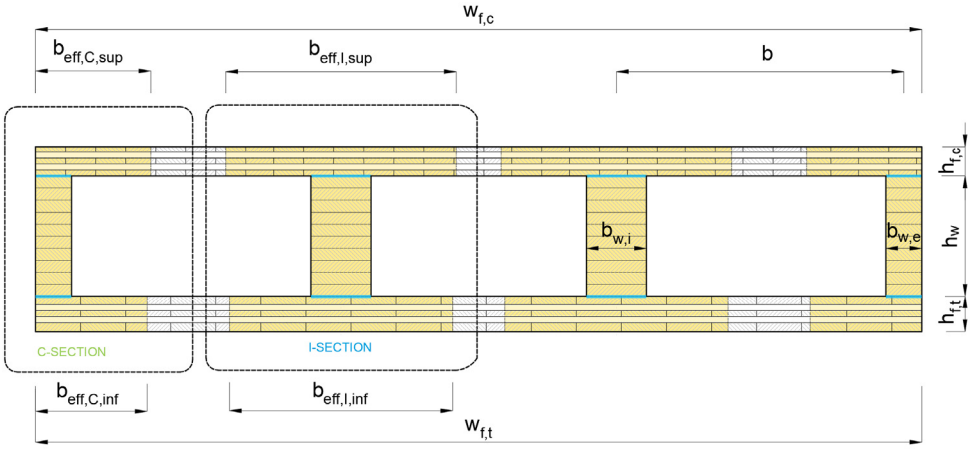


Figure 16 : Décomposition d'un caisson nervuré en sous-ensemble de poutres efficaces - (caisson ouvert).

Avec nervures de rives alignées :



Avec nervures de rives déportées :

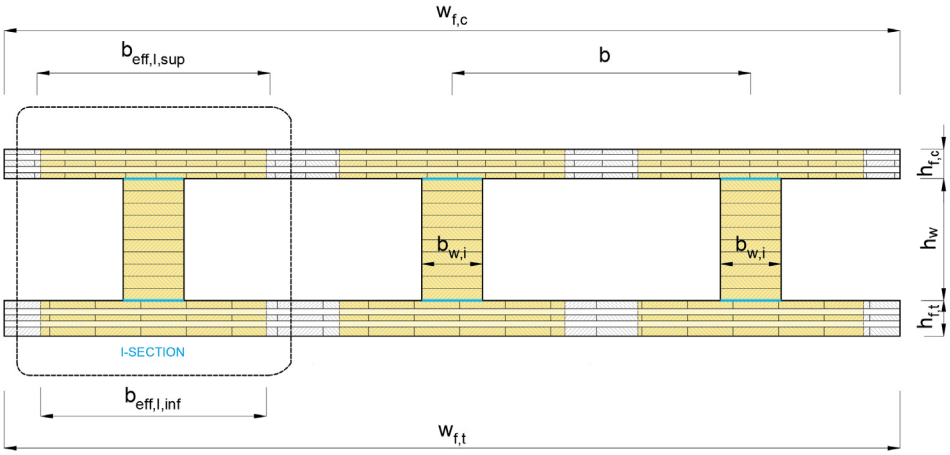


Figure 17 : Décomposition d'un caisson nervuré en sous-ensemble de poutres efficaces - (caisson fermé).

2.3.5.2. Largeur efficace

La largeur efficace de la section transversale du caisson nervuré n'est pas exactement la même dans les zones d'appuis (L_S) et à mi-travée (L_F). En fonction de la vérification à mener, la largeur efficace correspondante sera utilisée pour prendre en compte la bonne rigidité efficace.

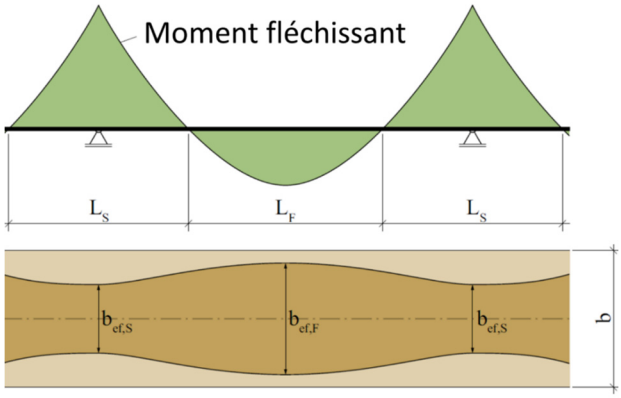


Figure 18 : Variation de la largeur efficace du système caisson nervuré Sylva™ CLT Rib

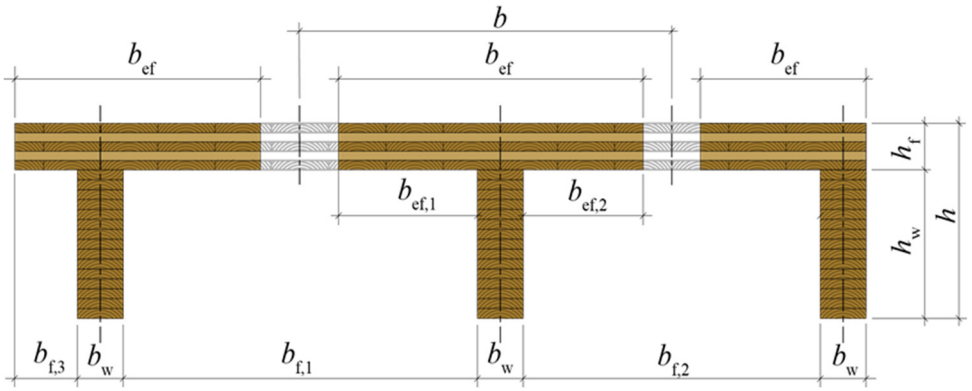


Figure 19: Définition de la largeur efficace

La largeur à considérer pour ces éléments de calcul est la largeur efficace b_{ef} qui est déterminée par nervure comme présenté ci-dessous :

La largeur effective par nervure b_{ef} est définie comme la somme de la largeur de nervure b_w et de la largeur efficace $b_{ef,i}$ de chaque côté de celle-ci comme décrit par la Figure 19.

$$b_{ef} = min\left\{b_w + \sum_{b} b_{ef,i}\right\} \quad \text{Eq. 4}$$

Avec :

b_{ef}	Largeur efficace totale [mm];
$b_{ef,i}$	Largeur efficace de chaque côté de la nervure (i = 1, 2) [mm];
$b_{f,j}$	Distance réelle entre les nervures [mm];
b_w	Largeur de la nervure [mm].

Pour un ratio $b_f/l \leq 0.02$,la largeur efficace est égale à l'entraxe entre nervures : $b_{ef} = b$

Les conditions qui s'appliquent à ces équations sont les suivantes :

- les plis extérieurs de la membrure CLT sont parallèles au sens du fil du bois de la nervure GLT ;
- la portée l d'un caisson nervuré Sylva™ CLT Rib doit être prise comme la distance entre les points où les moments fléchissant sont nuls ;
- Pour les chargements localisés avec un point d'introduction de la charge à une distance $\leq b$ par rapport au point du moment fléchissant nul ou si $c_p < 0{,}05 \cdot l$, la largeur efficace de chaque côté de la nervure doit être considérée comme $b_{ef,i} = 0$ (avec c_p étant la longueur de distribution du chargement).
- ratio de la distance réelle entre nervures par la portée ;

  $0.02 \leq \frac{b_f}{l} \leq 0.25$
- ratio de la rigidité axiale du panneau CLT dans la direction x par la rigidité efficace en cisaillement dans son plan ;

  $5 \leq \frac{(E \cdot A)_x}{S^*_{xy}} \leq 22$
- ratio de la portée par hauteur totale du caisson nervuré structurel.

  $14 \leq \frac{l}{h} \leq 25$

2.3.5.2.1. Largeur efficace $b_{ef,F}$ d'un caisson Sylva™ CLT Rib pour un chargement uniformément réparti (à mi-travée)

La largeur efficace en travée $b_{ef,F}$ est déterminée selon les équations suivantes :

L'Eq. 5 est utilisée pour la vérification des contraintes (ELU) au niveau de la travée et les vérifications aux états limites de services (ELS) dans le cas des poutres sur deux appuis ainsi que les poutres continues (portée = distance entre les moments fléchissant sont nuls), soumises à un chargement uniformément réparti.

$$b_{ef,i} = b_{f,j} \cdot min\left\{\begin{matrix} 0{,}5 \\ 0{,}5 - 0{,}35 \cdot \left(\frac{b_{f,j}}{l}\right)^{0{,}90} \cdot \left(\frac{(E \cdot A)_x}{S^*_{xy}}\right)^{0{,}45} \end{matrix}\right. \quad \text{Eq. 5}$$

Avec :

$(EA)_x$ Rigidité axiale de la membrure CLT dans son plan en direction longitudinale par 1m de largeur [N/m]

$$(E \cdot A)_x = \sum E_{i,0,\text{mean}} \cdot 1m \cdot t_{i,x} \quad \text{Eq. 6}$$

S^*_{xy} Rigidité en cisaillement de l'élément CLT dans son plan [N/m] [19]

$$S^*_{xy} = \frac{G_{0,mean} \cdot t}{1 + 6 \cdot p_s \cdot \left(\frac{t_{max}}{a}\right)^{q_s}} \quad \text{Eq. 7}$$

avec

$G_{0,mean}$ Module de cisaillement parallèle au fil [N/mm²]

t Epaisseur totale de l'élément CLT [mm]

t_{max} Epaisseur maximum d'un pli individuel composant le panneau CLT [mm]

a Largeur moyenne des planches composants les plis du panneau CLT [mm]

Qualité surface visible VI	<130mm (AU) <150mm (SE)	100mm
Qualité surface visible industriel IVI	<130mm (AU) <150mm (SE)	100mm
Qualité surface non visible NVI	<250mm	130mm

Si la valeur de la largeur des planches n'est pas connue, une largeur de $a = 80mm$ sera utilisée par défaut.

p_s ; q_s

Paramètres de rigidité cisaillement dans le plan (tableau K.4 -NA ÖNORM B 1995-1-1 :2015)	Nombre de plis		
	3	5	7 et plus
p_s	0,53	0,43	
q_s	1,21		

L'Eq. 5 s'applique peu importe le type de caisson nervuré (ouvert, inversé ou fermé).

2.3.5.2.2. Largeur efficace $b_{ef,S}$ d'un caisson Sylva™ CLT Rib pour un chargement ponctuel (aux appuis)

En plus des paramètres influençant la largeur efficace mentionnés au § 2.3.5.2.1, la largeur efficace dans le cas de chargement ponctuel aux appuis est également influencée par : le ratio de la hauteur de nervure par l'épaisseur de la membrure h_w / h_f.

Les équations Eq. 8 et Eq. 9 sont utilisées pour la vérification des contraintes (ELU) au niveau de la travée soumise à un chargement ponctuel ou au niveau des appuis dans le cas des poutres sur deux appuis ainsi que les poutres continues (portée = distance entre les moments fléchissant sont nuls).

La largeur efficace au niveau des appuis $b_{ef,S}$ est déterminée selon les équations suivantes :

$$2 \leq \frac{h_w}{h_f} < 3: \quad b_{ef,i} = b_{f,j} \cdot min \begin{cases} 0{,}5 \\ 0{,}5 - 0{,}30 \cdot \left(\frac{b_{f,j}}{l}\right)^{0{,}25} \cdot \left(\frac{(E \cdot A)_x}{S^*_{xy}}\right)^{0{,}25} \end{cases} \quad \text{Eq. 8}$$

et

$$3 \leq \frac{h_w}{h_f} \leq 5: \quad b_{ef,i} = b_{f,j} \cdot min \begin{cases} 0{,}5 \\ 0{,}5 - 0{,}36 \cdot \left(\frac{b_{f,j}}{l}\right)^{0{,}40} \cdot \left(\frac{(E \cdot A)_x}{S^*_{xy}}\right)^{0{,}25} \end{cases} \quad \text{Eq. 9}$$

avec :

h_w Hauteur de la nervure (Web) $h_w = h_{nervure}$ [mm]

h_f Hauteur (épaisseur) de la membrure CLT $h_f = t_{CLT,tot}$ [mm]

$b_{f,j}$ Distance réelle entre les nervures [mm];

Les Eq. 8 et Eq. 9 s'appliquent peu importe le type de caisson nervuré (ouvert, inversé ou fermé).

2.3.5.2.3. Largeur efficace $b_{ef,r}$ d'un caisson Sylva™ CLT Rib au niveau des appuis pour la vérification du cisaillement roulant

Au niveau des appuis, la vérification au cisaillement gouvernera souvent le dimensionnement. En raison de l'effet local de d'application de la charge sur le panneau CLT, des contraintes de cisaillement plus élevées que celles résultant de la théorie des poutres en flexion apparaissent localement dans le panneau CLT.

Par conséquent, pour la détermination de la contrainte de cisaillement roulement maximum, une petite largeur effective est appliquée à la membrure CLT. Il est suggéré d'utiliser une largeur effective égale à la largeur de la nervure GLT additionnée à une largeur de distribution du pli extérieur du panneau CLT orienté parallèlement à l'axe de la nervure en contact avec l'interface de collage nervure/membrure.

La contrainte de cisaillement, en particulier la contrainte de cisaillement roulant, se diffuse selon un angle de 45°, en partant du bord d'une nervure (voir Figure 20). Cette hypothèse a été vérifiée à l'aide de simulations par éléments finis et, par rapport à des modèles plus exacts, elle donne lieu à des écarts acceptables et sécuritaires. Le premier pli transversal est atteint après avoir pénétré le premier pli longitudinal (toujours dans la direction principale).

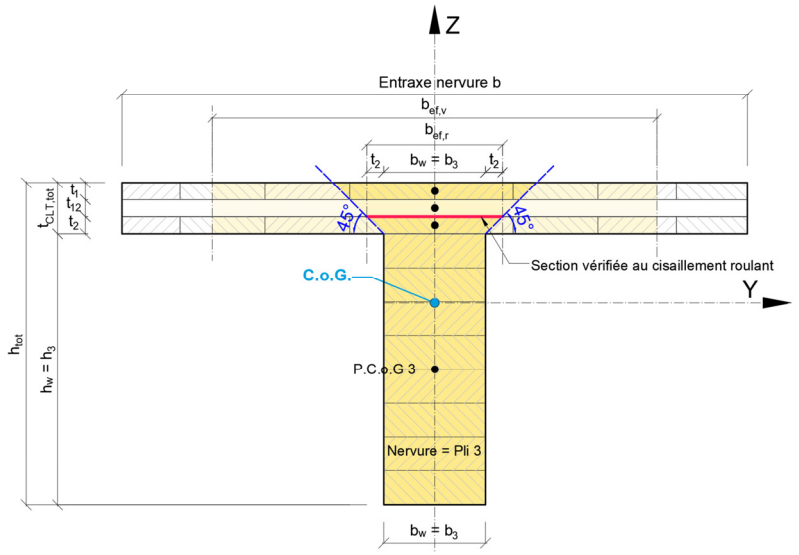


Figure 20: Largeur efficace à considérer pour la vérification des contraintes de cisaillement roulant aux appuis.

La largeur efficace pour la vérification au cisaillement roulant au niveau du pli transversal le plus proche du joint de collage est calculée selon l'équation suivante :

$$b_{ef,r} = b_w + 2 \cdot t_n \qquad \text{Eq. 10}$$

Avec :

$b_{ef,r}$ La largeur efficace pour la vérification au cisaillement roulant [mm]

b_w La largeur de la nervure (Web) $b_w = b_{nervure}$ [mm]

t_n L'épaisseur du pli extérieur du panneau CLT orienté parallèlement à l'axe de la nervure en contact direct avec l'interface de collage nervure/membrure [mm]

Pour un CLT L3s → t_2

Pour un CLT L5s → t_3

b_w [mm]	t_n [mm]	$b_{ef,r}$ [mm]
60	20	100
	30	120
	40	140
80	20	120
	30	140
	40	160
100	20	140
	30	160
	40	180
120	20	160
	30	180
	40	200

b_w [mm]	t_n [mm]	$b_{ef,r}$ [mm]
140	20	180
	30	200
	40	220
160	20	200
	30	220
	40	240
180	20	220
	30	240
	40	260
200	20	240
	30	260
	40	280

Tableau 3 : Largeur efficace pour la vérification au cisaillement roulant en fonction de la largeur de nervure et de la composition de la membrure CLT

2.3.5.3. Rigidité efficace en flexion

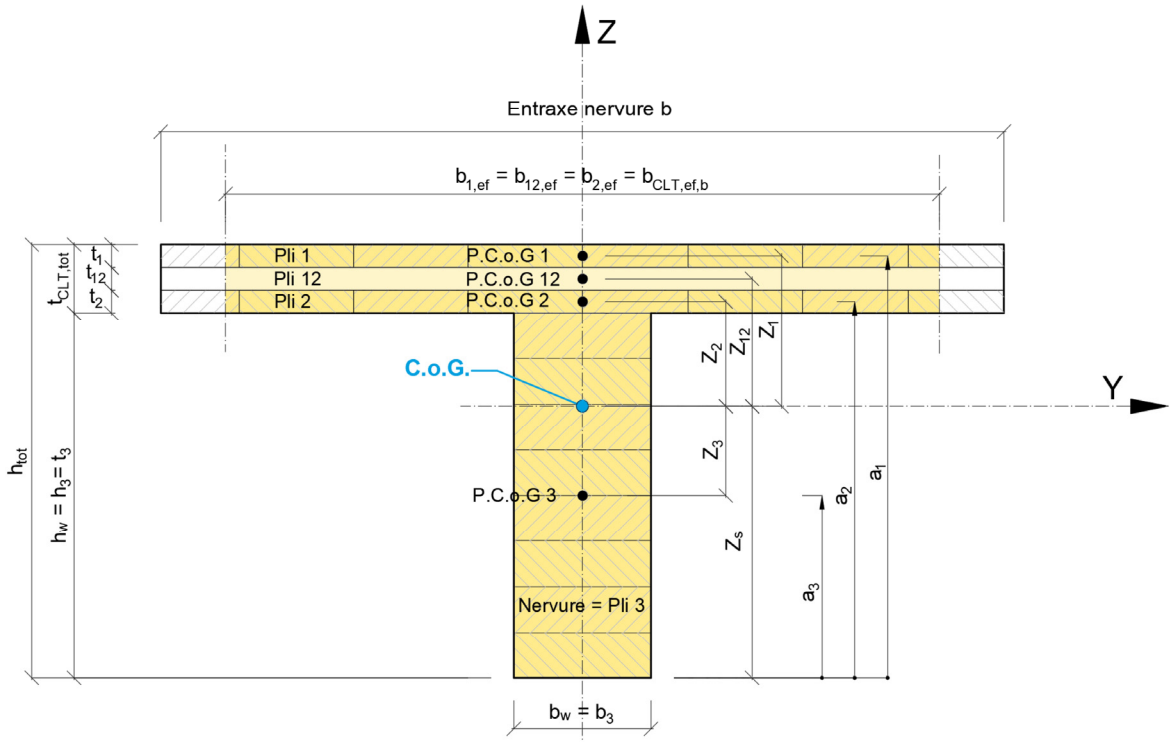


Figure 21 : Section transversale efficace d'un caisson nervuré en travée (section en T)

Avec:

$b_{ef,b}$ La largeur efficace pour la vérification ELU en flexion et ELS [mm] (voir §2.3.5.2)

Compte tenu des différences de module d'élasticité des composants des éléments de calcul Sylva™ CLT Rib, les méthodes de vérifications et de calcul des déformations s'appuient sur une rigidité efficace (EI_{eff}) calculée suivant la méthode décrite dans l'annexe B de la NF EN 1995-1-1 avec un module de glissement entre les composants infini soit un coefficient γ=1.

Notation de la composition des plis :

Les couches i, j, ... sont des couches dans la direction principale ; A noter que la nervure est considérée comme une couche dans la direction principale et suit le même modèle de notation (dans la figure ci-dessus, la nervure est la couche 3)

Les couches ij, jk, ... sont des couches transversale (par exemple entre les couches principales i et j, j et k, etc…).

Pour chaque section (T, L, C ou I), la section transversale et la rigidité en flexion sont calculées comme suit.

Les zones de section partielle (par exemple une couche i) dans le CLT peuvent être calculées comme suit :

$$A_i = b_{i,ef} \cdot t_i \qquad \text{Eq. 11}$$

Avec :

$b_{i,eff}$ La largeur efficace de la couche i dans la section CLT, ou la largeur de la nervure [mm];

t_i L'épaisseur de la couche i, ou la hauteur de la nervure.

La section nette du caisson nervuré est la somme des sections partielles dans la direction principale du(des) panneau CLT + la section de la nervure.

$$A_{net} = \sum_i A_i \qquad \text{Eq. 12}$$

La position du centre de gravité (C.o.G) présenté en Figure 21 est déterminée par rapport à la partie inférieure de la section du caisson nervuré :

$$z_s = \frac{\sum_i E_i \cdot A_i \cdot a_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} \qquad \text{Eq. 13}$$

Avec :

z_s La position verticale du centre de gravité de la section composée [mm];

A_i La surface de la section de la couche i ou de la nervure [mm²];

a_i La distance entre le bord inférieur de la section du caisson nervuré et le centre de gravité partiel de la couche/nervure respective [mm];

E_i Les module d'élasticité de la couche/nervure respective. Pour chaque situation, un module d'élasticité différent est pris en compte et le C.o.G doit être calculé individuellement pour chaque cas (ELU t=0, ELU t=∞, ELS t=0, ELS creep) [N/mm²].

Note : La position horizontale du C.o.G (Y_s) au niveau des nervures de rive doit également être calculée.

Rigidité en flexion par rapport à l'axe Y (direction Z) de la section partielle i:

$$EI_i = \frac{E_i \cdot b_{i,ef} \cdot {t_i}^3}{12} + E_i \cdot A_i \cdot {z_i}^2 \qquad \text{Eq. 14}$$

La rigidité en flexion par rapport à l'axe Y (direction Z) du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib est donc :

$$EI_{ef} = \sum_i EI_i \qquad \text{Eq. 15}$$

Etant donné que la distribution de contrainte dans la section est dépendante du module d'élasticité et que le module d'élasticité dépend du temps t, les cas suivants doivent être considéré de manière séparée. Du fait que dans ce système, l'effet du temps sur le dimensionnement ELU t=∞ est dans la plupart des cas insignifiant, cette étape n'est pas obligatoire.

La rigidité en flexion dépend du module l'élasticité et du centre de gravité, et doit être analysé individuellement pour chacun des cas suivants :

Cas	Rigidité en flexion	
ELU, t=0	$EI_{i,inst,d} = \frac{E_{i,inst,d} \cdot b_{i,ef} \cdot {t_i}^3}{12} + E_{i,inst,d} \cdot A_i \cdot {z_{i,inst,d}}^2$	Eq. 16
ELU, t=∞	$EI_{i,fin,d} = \frac{E_{i,fin,d} \cdot b_{i,ef} \cdot {t_i}^3}{12} + E_{i,fin,d} \cdot A_i \cdot {z_{i,fin,d}}^2$	Eq. 17
ELS, t=0	$EI_{i,inst} = \frac{E_{i,inst} \cdot b_{i,ef} \cdot {t_i}^3}{12} + E_{i,inst} \cdot A_i \cdot {z_{i,inst}}^2$	Eq. 18
ELS creep	$EI_{i,creep} = \frac{E_{i,creep} \cdot b_{i,ef} \cdot {t_i}^3}{12} + E_{i,creep} \cdot A_i \cdot {z_{i,creep}}^2$	Eq. 19

Tableau 4 : Rigidité en flexion en fonction du temps

Design	Temps	Définition en accord avec EN 1995-1-1	E_0 [N/mm²]		G_0 [N/mm²]		G_r [N/mm²]	
			CLT	GLT	CLT	GLT	CLT	GLT
ELU	t = 0	$X_{fin,d} = \frac{X_{mean}}{\gamma_M}$	9 600	9 200	552	520	40	52
		$n_{inst,d} = X_{inst,CLT}/X_{inst,GLT}$	1,043		1,062		0,769	
	t = ∞	$X_{fin,d} = \frac{X_{mean}}{\gamma_M \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})}$	7 742	7 797	445,2	441	32,3	44
		$n_{fin,d} = X_{fin,CLT}/X_{fin,GLT}$	0,993		1,010		0,732	
ELS	t = 0	$X_{inst,d} = X_{mean}$	12 000	11 500	690	650	50	65
		$n_{inst,d} = X_{inst,CLT}/X_{inst,GLT}$	1,043		1,062		0,769	
	Creep t = ∞	$X_{creep} = \frac{X_{mean}}{k_{def}}$	15 000	19 166	862.5	1 083	62,5	108,3
		$n_{creep,d} = X_{creep,CLT}/X_{creep,GLT}$	0,783		0,796		0,577	
	t = ∞	$X_{fin,d} = \frac{X_{mean}}{1 + k_{def}}$	6 667	7 188	383,3	406,3	28	40,6
		$n_{fin,d} = X_{fin,CLT}/X_{fin,GLT}$	0,928		0,944		0,684	

Tableau 5: Module d'élasticité pour les différents cas de dimensionnement en direction longitudinale (Exemple méthode précise avec K_{def} SC1.)

Les valeurs suivantes sont basées sur :

$E_{0,mean,CLT} = 12\,000\ N/mm^2$ (en accord avec l'ETA-14/0349) ;

$G_{0,mean,CLT} = 690\ N/mm^2$ (en accord avec l'ETA-14/0349) ;

$G_{r,mean,CLT} = 50\ N/mm^2$ (en accord avec l'ETA-14/0349) ;

$E_{0,mean,GLT} = 11\,500\ N/mm^2$ (GL 24h, en accord avec la NF EN 14080).

$G_{0,mean,GLT} = 650\ N/mm^2$ (GL 24h, en accord avec la NF EN 14080).

$G_{r,mean,GLT} = 65\ N/mm^2$ (GL 24h, en accord avec la NF EN 14080).

Classe de service 1

$\gamma_{M,Rib\ Panel} = 1.25$

n_{inst}, n_{creep} et n_{fin} sont les rapports des modules d'élasticité de deux matériaux. Lorsque le centre de gravité (C.o.G) est calculé, on peut utiliser soit le module d'élasticité dans l'équation ou soit appliquer la valeur du facteur n afin d'augmenter ou de réduire les parties concernées. De plus, le facteur n donne une indication sur la différence d'élasticité entre les deux matériaux.

Si les largeurs efficaces sont différentes dans les zones tendues et comprimées, la rigidité en flexion doit être calculée de manière séparée pour le moment de flexion négatif et positif.

Lorsqu'un K_{def} uniforme est pris en compte pour la section composée, il n'y a pas besoin d'analyser en t=∞.

2.3.5.4. Rigidité efficace en cisaillement

La modélisation comme une poutre flexible en cisaillement convient aux sections nervurées avec liaison rigide (c'est-à-dire collée). Dans les calculs ELU les valeurs de la section transversale (Tableau 5) sont utilisées et les vérifications des contraintes sont effectuées avec les valeurs de section transversale nette. Dans les calculs ELS, la part de déformation due au cisaillement doit être prise en compte via la rigidité en cisaillement et le facteur de correction de cisaillement.

Actuellement, il n'existe pas de solution analytique exacte pour un facteur correctif de cisaillement connu. Une solution approximative est donnée dans les équations suivantes.

Si la vérification est basée sur un modèle prenant en compte la déformation de cisaillement (théorie des poutres de Timoshenko), l'équation d'approximation suivante pour le facteur de correction de cisaillement κ peut être utilisée. Ces équations ont été établie grâce à une analyse d'ajustement avec la même liste de paramètres - élaborée avec holzbau forschungs GmbH.

Pour les sections en T (caisson nervuré ouvert ou inversé) :

$$\kappa = \frac{1}{1.20} - 0.25 \cdot \frac{\left(\frac{b_{ef}}{b_w}\right)^{0.70}}{\left(\frac{h_w}{h_f}\right)^{0.50}} \qquad \text{Eq. 20}$$

Pour les sections en I (caisson nervuré fermé) :

$$\kappa = \frac{1}{1.20} - 0.25 \cdot \frac{\left(\frac{min(b_{ef,c}; b_{ef,t})}{b_w}\right)^{0.70}}{\left(\frac{h_w}{min(h_{f,c}; h_{f,t})}\right)^{0.50}} \qquad \text{Eq. 21}$$

Avec :

κ	Facteur correctif de cisaillement (un coefficient K est $1/\kappa$) ;
b_{ef}	Largeur efficace de la membrure CLT dans le cas d'un caisson nervuré ouvert ou inversé (section T) [mm] ;
$b_{ef,c} = b_{ef,sup}$	Largeur efficace de la membrure CLT supérieure (en compression) dans le cas d'un caisson nervuré fermé (section I) [mm];
$b_{ef,t} = b_{ef,inf}$	Largeur efficace de la membrure CLT inférieure (en traction) dans le cas d'un caisson nervuré fermé (section I) [mm];
b_w	Largeur de la nervure [mm] ;
h_w	Hauteur de la nervure [mm] ;
h_f	Epaisseur de la membrure CLT dans le cas d'un caisson nervuré ouvert ou inversé (section T) [mm] ;
$h_{f,c} = h_{f,sup}$	Epaisseur de la membrure CLT supérieure (en compression) dans le cas d'un caisson nervuré fermé (section I) [mm] ;
$h_{f,t} = h_{f,inf}$	Epaisseur de la membrure CLT inférieure (en traction) dans le cas d'un caisson nervuré fermé (section I) [mm].

La rigidité efficace en cisaillement par rapport à l'axe Y (direction Z) de la section du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib est donc :

$$(GA)_{ef} = \kappa \cdot \sum_i G_i \cdot A_i \qquad \text{Eq. 22}$$

La rigidité en cisaillement est dépendante du module de cisaillement et doit être analysé individuellement pour chacun des cas suivants :

Cas	Rigidité en cisaillement	
ELU, t=0	$(GA)_{ef} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,inst,d} \cdot A_i$	Eq. 23
ELU, t=∞	$(GA)_{ef} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,fin,d} \cdot A_i$	Eq. 24
ELS, t=0	$(GA)_{ef} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,inst} \cdot A_i$	Eq. 25
ELS $_{creep}$	$(GA)_{ef} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,creep} \cdot A_i$	Eq. 26

Tableau 6: Rigidité en cisaillement en fonction du temps

2.3.6. États limites ultimes (ELU)

2.3.6.1. Résistance en flexion

Les contraintes de flexion doivent être vérifiées par rapport aux axes principaux (axes X et Y) de l'élément CLT. La vérification de la nervure doit être faite par rapport l'axe Y.

Si le caisson nervuré Sylva™ CLT Rib est soumis à des moments négatifs (contraintes de compression dans la nervure), le flambement des nervures doit être vérifié. Lorsque le rapport entre la largeur et la hauteur de la nervure est $h_w/b_w \leq 4$, cette vérification n'est pas nécessaire.

Si les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont chargés en compression parallèle à l'axe longitudinal, la stabilité des éléments (flambement hors du plan) doit être vérifiée.

2.3.6.1.1. Contraintes de flexion parallèle au fil dans la section

Lorsque la section est purement soumise à une charge hors plan provoquant une flexion du caisson nervuré, la contrainte normale dans la section composée à un point « i » doit être calculée comme suit :

$$\sigma_i(x,z) = \frac{E_i \cdot z_i \cdot M_y(x)}{EI_{y,ef}} \qquad \text{Eq. 27}$$

Avec :

$\sigma_i(x,z)$	Contrainte normale à un distance x du caisson nervuré et à une coordonnée z de la section [N/mm²] ;
E_i	Module d'élasticité d'un composant de la section à une coordonnée z d'un élément « i » [N/mm²] ;
$M_y(x)$	Moment de flexion par rapport à l'axe Y à une distance x du caisson nervuré [N.mm] ;
z_i	Coordonnée z du point « i » où la contrainte est analysée (distance par rapport à l'axe neutre de la section composée) [mm] ;
$EI_{y,ef}$	Rigidité efficace en flexion par rapport à l'axe Y, basée sur la largeur efficace en travée (voir §2.3.5.2) [N.mm²].

L'analyse des contraintes de flexion doit être effectué au niveau de la fibre extrême supérieure et/ou inférieure du CLT et de la nervure comme décrit en Figure 22 (Tableau 7)

Les contraintes de compression/traction doivent être vérifiées au centre de la section partielle comme décrit en Figure 23 (Tableau 8).

L'analyse des contraintes doit être effectuée conformément à la norme NF EN 1995-1-1 [2], chapitre 9.1.1

Un exemple de diagramme des contraintes de flexion à vérifier dans une section composée « en T » est illustré en Figure 24.

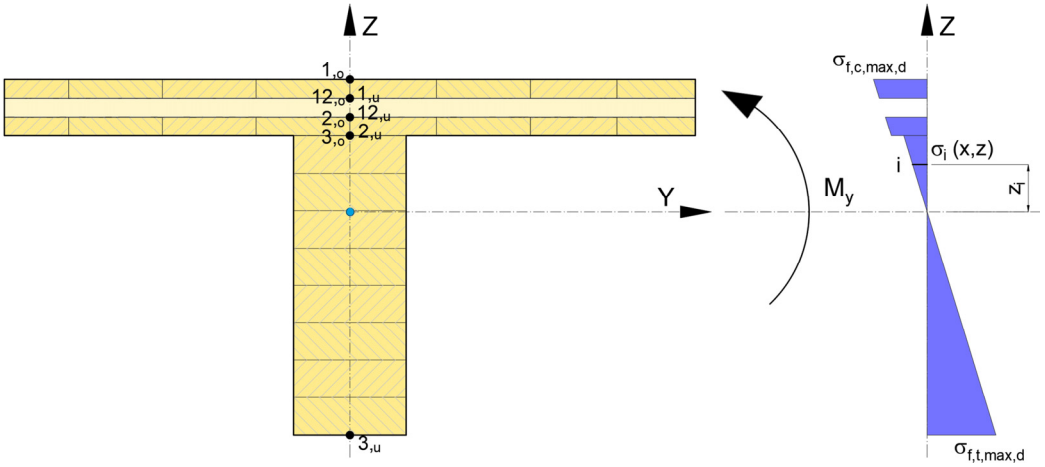


Figure 22 : Contraintes de flexion au niveau des fibres extrêmes des couches respectives (exemple pour une section en T avec membrure L3s)

Les contraintes de flexion dans les membrures sont calculées avec les largeurs efficaces considérées.

Point	Localisation de contrainte	Contrainte
1,o	Fibres extrêmes supérieures dans la membrure (pli longitudinal) n°1	$\sigma_{f,c,max,d}$
1,u	Fibres extrêmes inférieures dans la membrure (pli longitudinal) n°1	
12,o	Fibres extrêmes supérieures dans la membrure (pli transversal) n°12	
12,u	Fibres extrêmes inférieures dans la membrure (pli transversal) n°12	
2,o	Fibres extrêmes supérieures dans la membrure (pli longitudinal) n°2	
2,u	Fibres extrêmes inférieures dans la membrure (pli longitudinal) n°2	
3,o	Fibres extrêmes supérieures dans la nervure n°3	
3,u	Fibres extrêmes inférieures dans la nervure n°3	$\sigma_{f,t,max,d}$

Tableau 7: Localisation des contraintes de flexion (exemple pour une section en T avec membrure L3s)

Dans l'exemple

$$\sigma_{m,d;1,o} = E_{d,CLT} \cdot \frac{M_{y,max}}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot z_{1,o} = \sigma_{f,c,max,d} \quad \text{Eq. 28}$$

$$\sigma_{m,d;1,u} = E_{d,CLT} \cdot \frac{M_{y,max}}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot z_{1,u} \quad \text{Eq. 29}$$

$$\sigma_{m,d;2,o} = E_{d,CLT} \cdot \frac{M_{y,max}}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot z_{2,o} \quad \text{Eq. 30}$$

$$\sigma_{m,d;2,u} = E_{d,CLT} \cdot \frac{M_{y,max}}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot z_{2,u} \quad \text{Eq. 31}$$

$$\sigma_{m,d;3,o} = E_{d,GLT} \cdot \frac{M_{y,max}}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot z_{3,o} \quad \text{Eq. 32}$$

$$\sigma_{m,d;3,u} = E_{d,GLT} \cdot \frac{M_{y,max}}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot z_{3,u} = \sigma_{f,t,max,d} \quad \text{Eq. 33}$$

Vérification des contraintes de flexion :

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d} \quad \text{Eq. 34}$$

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad \text{Eq. 35}$$

Par conséquent :

$$\sigma_{i,d}(x,z) \leq f_{m,i,d} \quad \text{Eq. 36}$$

Avec :

$\sigma_{f,c,max,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de compression en fibre extrême de la section composée [N/mm²];

$\sigma_{f,t,max,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de traction en fibre extrême de la section composée [N/mm²];

$\sigma_{m,i,d}(x,z)$ Valeur de calcul de la contrainte à un distance x et à une coordonnée z de la section composée [N/mm²] ;

$f_{m,i,d}$ Valeur de calcul de la résistance en flexion de la section partielle "i" [N/mm²].

2.3.6.1.2. Contraintes normales provenant d'un moment fléchissant

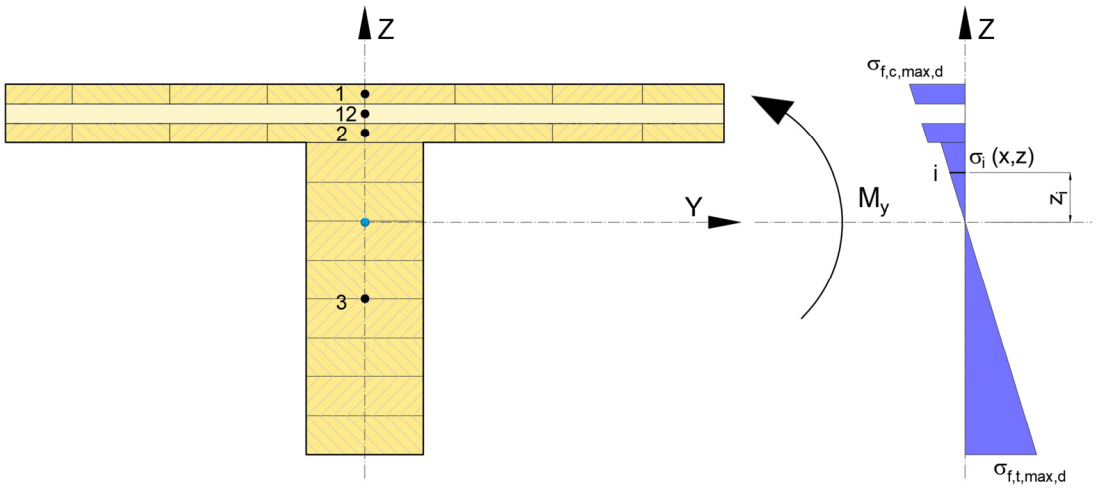


Figure 23 : Contraintes normales au niveau des centres de gravité partiels des couches respectives (exemple pour une section en T avec membrure L3s)

Les contraintes normales dans les membrures sont calculées avec les largeurs efficaces considérées.

Point	Localisation	Contrainte
1	Centre de gravité de la section partielle de la membrure (pli longitudinal) n°1	$\sigma_{f,c,1,d}$
2	Centre de gravité de la section partielle de la membrure (pli longitudinal) n°2	$\sigma_{f,c,2,d}$
3	Centre de gravité au niveau de la nervure n°3	$\sigma_{f,t,3,d}$

Tableau 8: Localisation des contraintes normales (exemple pour une section en T avec membrure L3s)

Dans l'exemple :

$$\sigma_{f,c,1,d} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sigma_{m,d;1,u} + \sigma_{m,d;1,o}\right) \quad \text{Eq. 37}$$

$$\sigma_{f,c,2,d} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sigma_{m,d;2,u} + \sigma_{m,d;2,o}\right) \quad \text{Eq. 38}$$

$$\sigma_{f,t,3,d} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sigma_{m,d;3,u} + \sigma_{m,d;3,o}\right) \quad \text{Eq. 39}$$

<u>Vérification des contraintes normales :</u>

$$\sigma_{f,c,i,d} \leq f_{c,0,i,d} \quad \text{Eq. 40}$$

$$\sigma_{f,t,i,d} \leq f_{t,0,i,d} \quad \text{Eq. 41}$$

Avec :

$\sigma_{f,c,i,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la section partielle "i" [N/mm²];

$f_{c,0,i,d}$ Valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil de la section partielle "i" [N/mm²];

$\sigma_{f,t,i,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de traction dans la section partielle "i" [N/mm²] ;

$f_{t,0,i,d}$ Valeur de calcul de la résistance en traction parallèle au fil de la section partielle "i" [N/mm²].

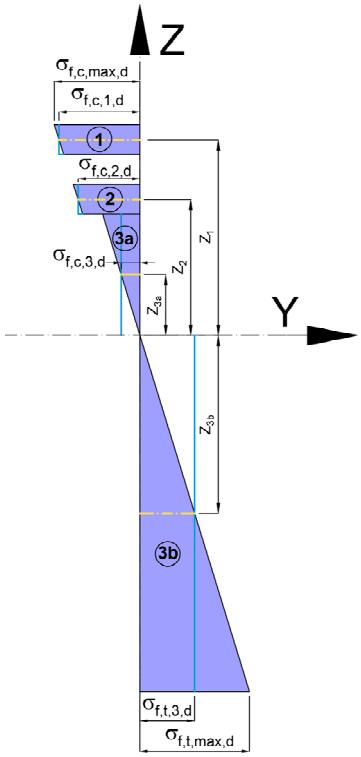


Figure 24: Distribution des contraintes de flexion

2.3.6.1.3. Contraintes normales provenant d'une force axiale

2.3.6.1.3.1. Traction parallèle au fil

La vérification des contraintes normales en traction dans les membrures et nervure doit être exécutée conformément à l'EN 1995-1-1 [2] et doit satisfaire l'expression suivante :

$$\boldsymbol{\sigma_{t,0,i,d} \leq f_{t,0,i,d}} \qquad \text{Eq. 42}$$

Avec :

$\sigma_{t,0,i,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de traction dans la section partielle "i" [N/mm²] ;

$f_{t,0,i,d}$ Valeur de calcul de la résistance en traction parallèle au fil de la section partielle "i" [N/mm²].

Où :

$$\sigma_{t,0,i,d} = \frac{E_i \cdot N_{ed}}{EA_{ef}} \qquad \text{Eq. 43}$$

$$EA_{ef} = \sum E_i \cdot A_i \qquad \text{Eq. 44}$$

Avec :

N_{ed} Valeur de calcul de la force de traction parallèle au fil [N] ;

E_i Module d'élasticité d'un composant de la section à une coordonnée z d'un élément « i » [N/mm²] ;

EA_{ef} Rigidité axiale efficace de la section composée (longitudinale) [N].

2.3.6.1.3.2. Compression parallèle au fil

La vérification des contraintes normales en compression dans les membrures et nervure doit être exécutée conformément à l'EN 1995-1-1 [2] et doit satisfaire l'expression suivante :

$$|\sigma_{c,0,i,d}| \leq k_c \cdot f_{c,0,i,d} \qquad \text{Eq. 45}$$

Avec :

$\sigma_{c,0,i,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la section partielle "i" [N/mm²] ;

$f_{c,0,i,d}$ Valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil de la section partielle "i" [N/mm²] ;

k_c Coefficient d'instabilité au flambement en accord avec la norme EN1995-1-1 (§ 6.3.2) et le § 2.3.6.2.1.1 du présent dossier technique.

Où :

$$\sigma_{c,0,i,d} = \frac{E_i \cdot N_{ed}}{EA_{eff}} \qquad \text{Eq. 46}$$

Avec :

N_{ed}	Valeur de calcul de la force de compression parallèle au fil [N] ;
E_i	Module d'élasticité d'un composant de la section à une coordonnée z d'un élément « i » [N/mm²] ;
EA_{eff}	Rigidité axiale efficace de la section composée (longitudinale) [N].

2.3.6.1.4. Contraintes combinées

En cas d'application d'une charge axiale ou d'inclinaison des caissons nervurés, une composante axiale apparaîtra. Ces équations s'appliquent à toute la section, de haut en bas. La vérification des contraintes combinées doit ensuite être exécutée conformément à la norme NF EN 1995-1-1, §6.2.3 et §6.2.4 :

La contrainte normale due à une force axiale est directement additionnée à la contrainte normale provenant du moment fléchissant.

Contrainte de flexion et compression axiale combinées :

Pour les membrures

$$\left(\frac{\sigma_{c,i,d}}{f_{c,i,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{f,c,max,d}}{f_{f,m,0,d}} \leq 1 \qquad \text{Eq. 47}$$

Pour les nervures (web)

$$\left(\frac{\sigma_{c,i,d}}{f_{c,i,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{w,c,max,d}}{f_{w,m,0,d}} \leq 1 \qquad \text{Eq. 48}$$

Avec :

$\sigma_{c,i,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la section partielle "i" provenant d'une force axiale [N/mm²];
$\sigma_{f,c,max,d}$	Valeur de calcul de la contrainte maximum de compression en fibre extrême de la membrure supérieure de la section composée provenant d'un moment fléchissant [N/mm²];
$f_{c,i,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil de la section partielle "i" [N/mm²];
$f_{f,m,0,d}$	Valeur de calcul de la résistance en flexion de la membrure [N/mm²] ;
$\sigma_{w,c,max,d}$	Valeur de calcul de la contrainte maximum de compression dans la nervure de la section composée provenant d'un moment fléchissant [N/mm²];
	Dans le cas d'un caisson inversé avec section en T, $\sigma_{w,c,max,d} = \sigma_{f,c,max,d}$;
$f_{w,m,0,d}$	Valeur de calcul de la résistance en flexion de la nervure [N/mm²].

Contrainte de flexion et traction axiale combinées :

Pour les membrures

$$\frac{\sigma_{t,i,d}}{f_{t,i,d}} + \frac{\sigma_{f,t,max,d}}{f_{f,m,0,d}} \leq 1 \qquad \text{Eq. 49}$$

Pour les nervures (web)

$$\frac{\sigma_{t,i,d}}{f_{t,i,d}} + \frac{\sigma_{w,t,max,d}}{f_{w,m,0,d}} \leq 1 \qquad \text{Eq. 50}$$

Avec :

$\sigma_{t,i,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de traction dans la section partielle "i" provenant d'une force axiale [N/mm²];
$\sigma_{f,t,max,d}$	Valeur de calcul de la contrainte maximum de traction en fibre extrême de la membrure inférieure de la section composée provenant d'un moment fléchissant [N/mm²];
$f_{t,i,d}$	Valeur de calcul de la résistance en traction parallèle au fil de la section partielle "i" [N/mm²];
$f_{f,m,0,d}$	Valeur de calcul de la résistance en flexion de la membrure [N/mm²] ;
$\sigma_{w,t,max,d}$	Valeur de calcul de la contrainte maximum de traction dans la nervure de la section composée provenant d'un moment fléchissant [N/mm²];
	Dans le cas d'un caisson ouvert avec section en T, $\sigma_{w,t,max,d} = \sigma_{f,t,max,d}$;
$f_{w,m,0,d}$	Valeur de calcul de la résistance en flexion de la nervure [N/mm²].

2.3.6.1.5. Résistances de calcul en flexion, compression et traction

La résistance à la flexion doit être analysée comme suit :

CLT :

$$f_{CLT,m,d} = \frac{k_{sys} \cdot k_{mod} \cdot f_{CLT,m,k}}{\gamma_{m,CLT}} \qquad \text{Eq. 51}$$

Avec :

$f_{CLT,m,d}$ Valeur de calcul de la résistance en flexion du CLT [N/mm²] ;
k_{mod} Facteur modificatif (EN1995-1-1, Table 3.1);
k_{sys} Effet système selon ETA 14/0349 [20];
$f_{CLT,m,k}$ Valeur caractéristique de la résistance en flexion du CLT en accord avec l'ETA 14/0349 [20] [N/mm²] ;
$\gamma_{m,CLT}$ Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (NF EN 1995-1-1, Table 2.3) ÖNORM EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4 propose $\gamma_{m,CLT} = 1{,}25$.

GLT :

$$f_{GLT,m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{GLT,m,k} \cdot k_h}{\gamma_{m,GLT}}$$ Eq. 52

Avec :

$f_{GLT,m,d}$ Valeur de calcul de la résistance en flexion du lamellé-collé [N/mm²] ;
k_{mod} Facteur modificatif (EN1995-1-1, Table 3.1);
$f_{GLT,m,k}$ Valeur caractéristique de la résistance en flexion du lamellé-collé (EN 14080) [N/mm²] ;
k_h Facteur de dimension en accord avec la norme NF EN 1995-1-1, partie 3.3 (3) ;
$\gamma_{m,GLT}$ Coefficient partiel selon les propriétés du lamellé-collé (NF EN 1995-1-1, Table 2.3).

La résistance en traction doit être analysée comme suit :

CLT :

$$f_{CLT,t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{CLT,t,0,k}}{\gamma_{m,CLT}}$$ Eq. 53

Avec :

$f_{CLT,t,0,d}$ Valeur de calcul de la résistance en traction parallèle au fil du CLT [N/mm²] ;
$f_{CLT,t,0,k}$ Valeur caractéristique de la résistance en traction parallèle au fil du CLT en accord avec l'ETA 14/0349 [20] [N/mm²] ;

GLT :

$$f_{GLT,t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{GLT,t,0,k} \cdot k_h}{\gamma_{m,GLT}}$$ Eq. 54

Avec :

$f_{GLT,t,0,d}$ Valeur de calcul de la résistance en traction parallèle au fil du lamellé-collé [N/mm²] ;
$f_{GLT,t,0,k}$ Valeur caractéristique de la résistance en traction parallèle au fil du lamellé-collé (EN 14080) [N/mm²] ;

La résistance en compression doit être analysée comme suit :

CLT :

$$f_{CLT,c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{CLT,c,0,k}}{\gamma_{m,CLT}}$$ Eq. 55

Avec :

$f_{CLT,c,0,d}$ Valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil du CLT [N/mm²] ;
$f_{CLT,c,0,k}$ Valeur caractéristique de la résistance en compression parallèle au fil du CLT en accord avec l'ETA 14/0349 [20] [N/mm²] ;

GLT :

$$f_{GLT,c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{GLT,c,0,k}}{\gamma_{m,GLT}}$$ Eq. 56

Avec :

$f_{GLT,c,0,d}$ Valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil du lamellé-collé (EN 14080) [N/mm²] ;
$f_{GLT,c,0,k}$ Valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil du lamellé-collé [N/mm²] ;

2.3.6.2. Stabilité des caissons nervurés

2.3.6.2.1.1. Stabilité – flambement des éléments sollicités soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion

La vérification peut être effectuée soit

(1) sur la base de la méthode des éléments équivalents selon la norme EN 1995-1-1 ou ;

(2) des calculs basés sur une analyse élastique de second ordre.

La condition selon EN1995-1-1 [3], point 6.3.2 (3) doit être remplie. La stabilité au flambement et au déversement latéral doit être vérifiée en utilisant les propriétés caractéristiques $E_{0,k}$. Ceci s'applique au CLT ainsi qu'à la nervure GLT.

Vérification :

Lorsque $\lambda_{rel} \leq 0{,}3$, les contraintes doivent satisfaire les équations Eq. 47 et Eq. 48 de la flexion et de la compression axiale combinées, ce qui signifie dans ce cas que le flambement n'aura aucun effet.

Dans tous les autres cas, lorsque $\lambda_{rel} > 0{,}3$, les contraintes qui seront augmentées en raison de la flèche, doivent satisfaire les expressions suivantes :

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}}\right) + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \qquad \text{Eq. 57}$$

Avec :

$\sigma_{c,0,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil provenant d'une force axiale [N/mm²] ;
$f_{c,0,d}$	Valeur caractéristique de la résistance en compression parallèle au fil [N/mm²] ;
k_c	Coefficient d'instabilité au flambement [-].

La vérification doit considérer la flexibilité en cisaillement de la section :

$$\sigma_{c,0,i,d} = \frac{E_i \cdot N_{ed}}{EA_{0,ef}} \qquad \text{Eq. 58}$$

$$EA_{0,ef} = \sum E_i \cdot A_{c,0,i} \qquad \text{Eq. 59}$$

Avec :

N_{ed}	Valeur de calcul de la force de compression parallèle au fil [N] ;
E_i	Module d'élasticité d'un composant de la section à une coordonnée z d'un élément « i » [N/mm²] ;
$EA_{0,ef}$	Rigidité axiale efficace de la section composée (longitudinale) [N];
$A_{c,0,ef}$	Section efficace en compression (les plis transversaux sont négligés) en considérant la largeur efficace [mm²]; Remarque : À moins qu'un calcul plus détaillé ne soit effectué, la largeur efficace $b_{ef} \leq min\{20 \cdot hf;\ bf\}$ (selon la norme EN 1995-1-1 pour le contreplaqué dont la direction du fil des plis extérieurs est parallèle aux nervures) peut être utilisée.
$\sigma_{c,0,i,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la section partielle "i" provenant d'une force axiale [N/mm²];

Le rapport d'élancement relatif est calculé comme suit :

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{A_{c,0,ef} \cdot f_{c,0,k}}{n_{cr}}} \qquad \text{Eq. 60}$$

Où :

$$n_{cr} = \frac{(EI)_{ef,05} \cdot \pi^2}{{l_k}^2 \cdot \left(1 + \frac{(EI)_{ef,05} \cdot \pi^2}{S_{05} \cdot {l_k}^2}\right)} = \frac{(EI)_{ef,05} \cdot \pi^2}{{l_k}^2} \cdot \frac{1}{1 + k_c} \qquad \text{Eq. 61}$$

$$k_c = min\left\{k + \sqrt{k^2 + {\lambda_{rel}}^2}\right\} \qquad \text{Eq. 62}$$

$$k = 0{,}5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot \left(\lambda_{rel,y} - 0{,}3\right) + {\lambda_{rel}}^2\right) \qquad \text{Eq. 63}$$

β_c est un facteur pour les membres dans la limite de rectitude ;

$\beta_c = 0{,}10$ pour le lamellé collé GLT dans la limite de rectitude de L/500 ;

La limite est définie dans l'Eurocode 5 section 10 comme la déviation de la rectitude mesurée à mi-travée entre les appuis des membres où l'instabilité latérale peut se produire.

Avec :

$\lambda_{rel,y}$	Rapport d'élancement relatif correspondant à une flexion par rapport à l'axe Y (flèche dans la direction Z) [-] ;
n_{cr}	Charge élastique critique de flambement [N/m] ;
$E_{0,05}$	Valeur caractéristique du module d'élasticité parallèle au fil (5e pourcentile) [N/mm²];
$(EI)_{ef,05}$	Rigidité efficace en flexion (considérant la largeur efficace b_{ef} et le module d'élasticité parallèle au fil caractéristique) [N·mm²] ;
l_k	Longueur de flambement [mm] ;
S_{05}	Rigidité en cisaillement de la section efficace (considérant la largeur efficace b_{ef} et le module de cisaillement parallèle au fil caractéristique) : $S_{05} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,05} \cdot A_i$
G_{05}	Module de cisaillement parallèle au fil caractéristique (5e pourcentile) [N/mm²];
κ	Facteur correctif de cisaillement (voir § 2.3.5.4)
k_c	Coefficient d'instabilité au flambement [-].

2.3.6.2.2. Stabilité – déversement latéral des éléments sollicitées soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion

En général, aucun déversement latéral n'est possible lorsque la membrure supérieure stabilise les nervures par le haut.

Le déversement latéral n'est pas attendu pour les nervures ayant un rapport de de dimension $h_w/b_w \leq 4$. Dans le cas de nervures avec un rapport de dimension supérieur, une analyse détaillée de la stabilité au déversement est réalisée.

2.3.6.2.2.1. Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib ouvert et fermé

Aucun déversement latéral n'est possible. La partie comprimée de la section en CLT assure la stabilité des nervures (perpendiculaire au plan des nervures).

2.3.6.2.2.2. Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib inversé

Dans ce cas, la zone de compression se situe au niveau de la nervure lamellé-collé et par conséquent, elle est susceptible de déverser. Pour prendre en compte le déversement latéral, il est suffisant de faire une analyse de flambement en accord avec la norme EN1995-1-1 [2], partie 6.3.2 (3) sur l'extrême moitié de la zone de compression (zone bleue) comme indiqué dans la figure ci-dessous :

Le déversement latéral doit être vérifié à la fois dans le cas où un moment fléchissant M_d seul est appliqué par rapport à l'axe fort, et également dans le cas d'une combinaison de compression (N_c) et de flexion (M_d).

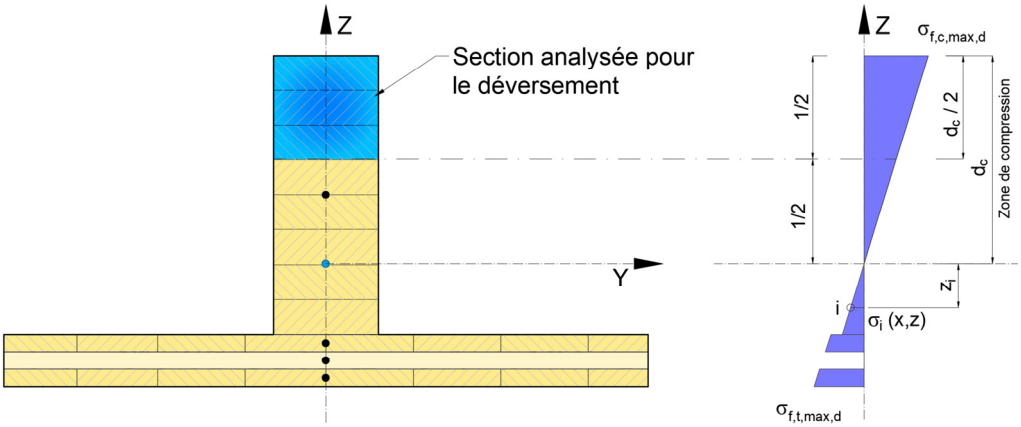


Figure 25: Section comprimée analysée pour le déversement latéral en caisson nervuré inversé.

La longueur de déversement doit être la distance entre les entretoises placées entres les nervures qui font office d'anti-déversement. Si le déversement est encore critique, la distance entre les entretoises peut être réduite.

Dans la majorité des cas, la partie supérieure des nervures sera recouverte par un panneau contreventent (tous matériaux référencés dans le DTU 31.2). Dans ce cas, la vérification n'est pas nécessaire.

2.3.6.3. Résistance au cisaillement

L'analyse du cisaillement doit être effectuée à différents points de la section composée. Les points essentiels de la section qui sont à vérifier sont :

- C.o.G (Centre de gravité) ;
- Joint de colle entre la nervure et la membrure CLT ;
- Joint de colle dans la membrure CLT, entre le pli extérieur longitudinal collé à la nervure et le pli transversal (perpendiculaire à la direction principale). Il s'agit du joint de colle dans le CLT le plus proche du centre de gravité CoG. La largeur efficace $b_{ef,r}$ qui s'applique pour le calcul de la contrainte de cisaillement roulant à ce point est décrite au § 2.3.5.2.3.

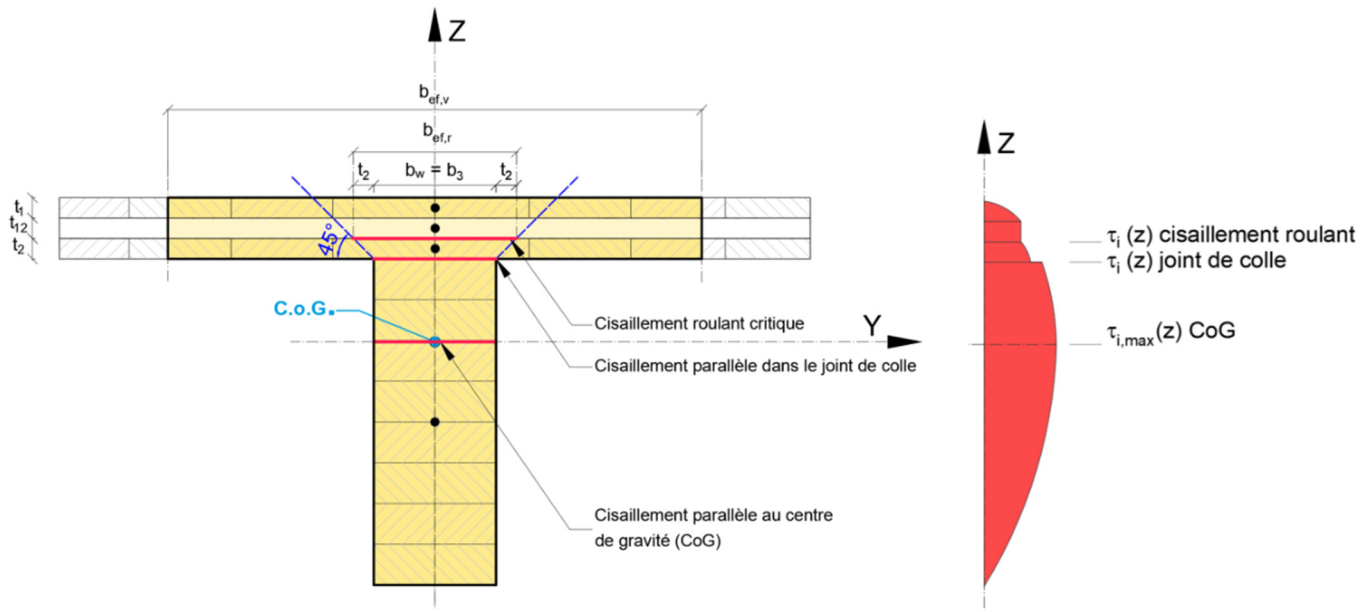


Figure 26: Points de vérification des contraintes de cisaillement (caisson nervuré ouvert)

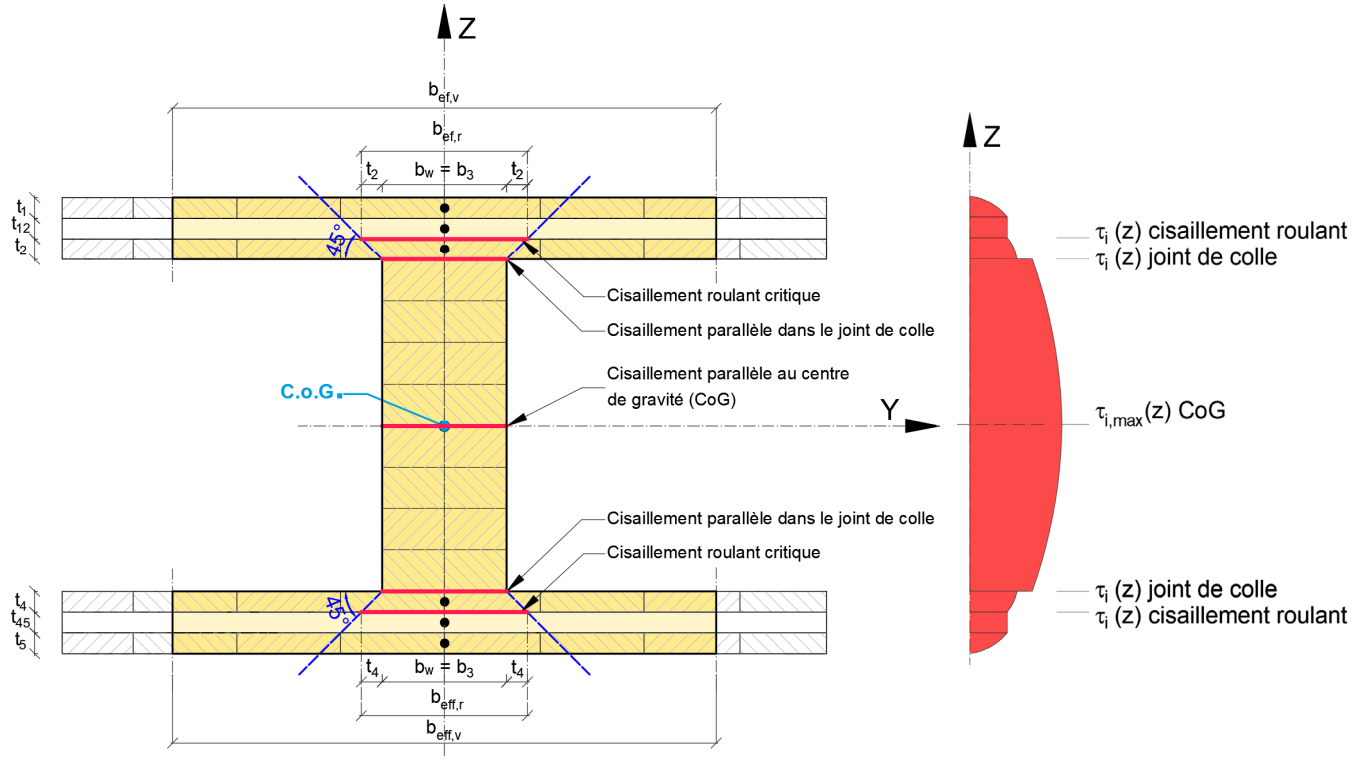


Figure 27: Points de vérification des contraintes de cisaillement (caisson nervuré fermé)

2.3.6.3.1. Contraintes de cisaillement

Les contraintes de cisaillement doivent être calculées au niveau des points données en Figure 26 et Figure 27.
Le calcul des contraintes de cisaillement s'effectue à différentes coordonnées z comme suit :

$$\tau(z)_d = E_i \cdot \frac{S_y(z) \cdot V_{z,d}}{EI_{y,ef} \cdot b(z)} \qquad \text{Eq. 64}$$

Ces vérifications se font à t=0 et t=∞.
Avec :

$\tau(z)_d$ Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à une coordonnée "z" [N/mm²] ;
E_i Module d'élasticité de l'élément i respectif – voir Tableau 5 ;
$S_y(z)$ Moment statique à une coordonné "z", par rapport à l'axe Y [mm³] ;

$V_{z,d}$	Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant sur le panneau (force de cisaillement [N]) ;
$I_{y,ef}$	Moment d'inertie efficace par rapport à l'axe Y [mm⁴] ;
$EI_{y,ef}$	Rigidité efficace en flexion basée sur la largeur efficace au niveau des appuis (ou de la charge ponctuelle) (voir §2.3.5.2.2) [N.mm²]
$b(z)$	Largeur de la section à une coordonnée "z" ; Pour le cisaillement parallèle au niveau du centre de gravité CoG et du joint de collage : $b(z) = b_w$ Pour le cisaillement roulant : $b(z) = b_{ef,r}$ → Voir Eq. 10 et Figure 20.

Pour chaque cas à vérifier, le moment statique est calculé selon la hauteur z considérée.

$$S_y(z) = \sum_i A_i \cdot e_{z,i} \qquad \text{Eq. 65}$$

Avec

$S_y(z)$	Moment statique à la coordonnée "z", selon la direction Y [mm³];
A_i	Aire de la section partielle "i" [mm²] ;
$e_{z,i}$	Excentricité de la section partielle "i" = distance entre le centre de gravité partiel de la section partielle "i" et le centre de gravité C.o.G de la section globale [mm].

2.3.6.3.1.1. Approximation simplifiée pour les sections en T (aux appuis)

Si les valeurs de la section transversale sont calculées précisément, l'Eq. 64 est la manière la plus claire et la plus précise de calculer les contraintes. Pour une vérification rapide ou une estimation des contraintes de cisaillement dans les sections en T, les simplifications (sécuritaires) données ci-dessous peuvent être utilisée.

Il faut noter que la largeur efficace au niveau des appuis n'est pas valable avec ces approximations simplifiées. Directement au-dessus des appuis, le caisson nervuré est considéré comme une section de nervure.

Hypothèse : Directement au-dessus des appuis, la réaction d'appui totale est supportée par une section transversale en T.

Vérification simplifiée des contraintes de cisaillement parallèles au fil :

Par approximation, les contraintes de cisaillement parallèle dans la nervure GLT et la membrure CLT (joint de collage) au niveau des appuis peuvent être déterminées en utilisant la section (nette) de la nervure $(A_{net,w} = b_w \cdot h_w)$.

La contrainte de cisaillement parallèle simplifiée au centre de gravité de la section en T peut être calculée comme suit :

$$\tau_d = 1.20 \cdot \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot \frac{V_d}{A_{net,w}} \qquad \text{Eq. 66}$$

Avec:

τ_d	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement au centre de gravité CoG de la section en T [N/mm²] ;
E_i	Module d'élasticité de l'élément i (pour les couches parallèles au fil) [N/mm²] ;
E_{ref}	Module d'élasticité de référence [N/mm²] ;
V_d	Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant sur la section en T (force de cisaillement [N]) ;
$A_{net,w}$	Section nette de la nervure (web) [mm²].

Vérification simplifiée des contraintes de cisaillement roulant dans le pli transversal le plus proche du joint de colle :

La contrainte de cisaillement roulant simplifiée dans la membrure CLT peut être calculée comme suit :

$$\tau_{r,d} = \tau_d \cdot \left(1 - \frac{t_n}{t_{CLT}}\right) \cdot \frac{b_w}{b_w + 2 \cdot t_n} \qquad \text{Eq. 67}$$

Avec:

$\tau_{r,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement roulant au niveau du pli transversal le plus proche du joint de colle [N/mm²] ;
τ_d	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement au centre de gravité CoG de la section en T [N/mm²] ;
t_n	Epaisseur du pli extérieur de la membrure CLT le plus proche du joint de colle (dans l'illustration en Figure 26: $t_n = t_2$) [mm] ;
t_{CLT}	Epaisseur totale de la membrure CLT [mm] ;
b_w	Largeur de la nervure [mm].

Note : La vérification des recommandations de calculs présentées ci-dessus a été effectuée au moyen d'une étude paramétrique aux éléments finis.

2.3.6.3.2. Résistances de calcul en cisaillement

Vérification des contraintes de cisaillement :

Les contraintes de cisaillement parallèle doivent satisfaire les exigences suivantes au niveau des nervures GLT :

$$\tau_{i,d} \leq f_{v,0,GLT,d} \quad \text{Eq. 68}$$

Avec :

$$f_{v,0,GLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{cr} \cdot f_{v,0,GLT,k}}{\gamma_{m,GLT}} \quad \text{Eq. 69}$$

Où :

$\tau_{i,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à un point « i » de la section, localisée dans la nervure en lamellé-collé (GLT) [N/mm²] ;
$f_{v,0,GLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance au cisaillement parallèle du lamellé-collé [N/mm²] ;
k_{mod}	Facteur modificatif (EN1995-1-1, Table 3.1) ;
k_{cr}	Coefficient de fissure du lamellé collé NF EN 1995-1-1 [1], partie 6.1.7
$f_{v,0,GLT,k}$	Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement parallèle du lamellé-collé en accord avec NF EN 14080;
$\gamma_{m,GLT}$	Coefficient partiel selon les propriétés du lamellé-collé (NF EN 1995-1-1, Table 2.3).

Les contraintes de cisaillement parallèle doivent satisfaire les exigences suivantes au niveau des membrures CLT :

$$\tau_{i,d} \leq f_{v,0,CLT,d} \quad \text{Eq. 70}$$

Avec :

$$f_{v,0,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,0,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 71}$$

Où :

$f_{v,0,CLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance au cisaillement parallèle du CLT [N/mm²] ;
k_{mod}	Facteur modificatif (EN1995-1-1, Table 3.1) ;
$f_{v,0,CLT,k}$	Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement du CLT en accord avec l'ETA 14/0349 [20] [N/mm²] ;
$\gamma_{m,CLT}$	Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (NF EN 1995-1-1, Table 2.3) ÖNORM EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4 propose $\gamma_{m,CLT} = 1{,}25$.

Les contraintes de cisaillement roulant doivent satisfaire les exigences suivantes au niveau des membrures CLT :

$$\tau_{i,r,d} \leq f_{r,CLT,d} \quad \text{Eq. 72}$$

Avec :

$$f_{r,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{r,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 73}$$

Où :

$f_{r,CLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance au cisaillement roulant du CLT [N/mm²] ;
k_{mod}	Facteur modificatif (EN1995-1-1, Table 3.1) ;
$f_{r,CLT,k}$	Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement roulant des lamelles du CLT en accord avec l'ETA 14/0349 [20] [N/mm²] ;
$\gamma_{m,CLT}$	Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (NF EN 1995-1-1, Table 2.3) ÖNORM EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4 propose $\gamma_{m,CLT} = 1{,}25$.

Vérification des contraintes de cisaillement combinées au niveau du joint de colle entre nervure et membrure uniquement dans le cas d'un chargement ponctuel engendrant une flexion biaxiale hors plan de la membrure CLT :

Les contraintes de cisaillement combinées parallèles et transversales doivent satisfaire les exigences suivantes au niveau des nervures GLT :

$$\left(\frac{\tau_{v,0/joint,d}}{f_{v,0,GLT,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r/joint,d}}{f_{r,g,GLT,d}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{Eq. 74}$$

Avec :

$$f_{r,g,GLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{r,g,GLT,k}}{\gamma_{m,GLT}} \quad \text{Eq. 75}$$

Les contraintes de cisaillement combinées parallèles et transversales doivent satisfaire les exigences suivantes au niveau des membrures CLT :

$$\left(\frac{\tau_{v,0/joint,d}}{f_{v,0,CLT,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r/joint,d}}{f_{r,CLT,d}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{Eq. 76}$$

où :

$\tau_{v,0/joint,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement parallèle au fil au niveau du joint de colle, localisée dans la nervure en lamellé-collé (GLT) ou la membrure CLT respectivement [N/mm²] ;
$\tau_{r/joint,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement roulant au niveau du joint de colle, localisée dans la nervure en lamellé-collé (GLT) ou la membrure CLT respectivement [N/mm²] ;
$f_{r,g,GLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance au cisaillement roulant du lamellé-collé [N/mm²] ;
$f_{r,g,GLT,k}$	Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement roulant du lamellé-collé en accord avec NF EN 14080 [N/mm²].

Note : Pour les autres cas, la vérification des contraintes de cisaillement combinées n'est pas dimensionnante étant donné que les efforts transversaux dans le sens perpendiculaire au fil de la nervure sont négligeables (1-3% de l'effort longitudinal) et les efforts longitudinaux dans le sens parallèle au fil de la nervure sont prépondérants. La rigidité du caisson nervuré est telle dans le sens de la portée, on considère que la totalité des efforts sont transférés dans le sens longitudinal d'appui à appui. De ce fait la vérification est réalisée seulement dans le sens longitudinal comme décrit précédemment dans le § 2.3.6.3.2.

2.3.6.4. Dimensionnement des membrures CLT Stora Enso sous sollicitations horizontales coplanaires

2.3.6.4.1. Vérification de la résistance au cisaillement coplanaire des membrures CLT : Contreventement

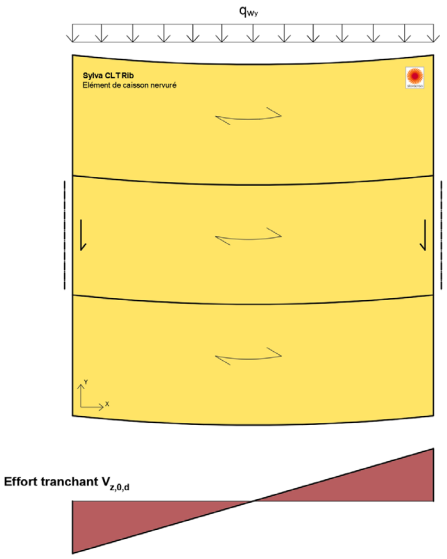


Figure 28: Cisaillement dans le plan du CLT en direction Y.

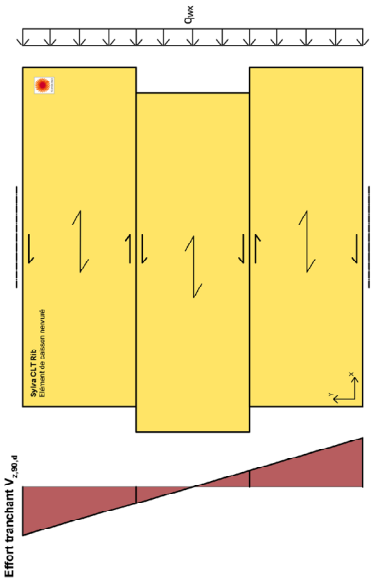


Figure 29: Cisaillement dans le plan du CLT en direction X.

La capacité résistante au cisaillement des panneaux doit être justifiée lorsque ceux-ci sont soumis à des forces horizontales dans leur plan. La vérification consiste à ne s'assurer qu'aucun des trois modes de rupture potentiels n'est atteint à l'E.L.U.

- Mode I : Cisaillement du panneau en section brute
- Mode II : Cisaillement du panneau en section nette des joints entre les planches
- Mode III : Cisaillement du panneau au croisement des planches collées entre plis (Torsion aux interfaces de collage)

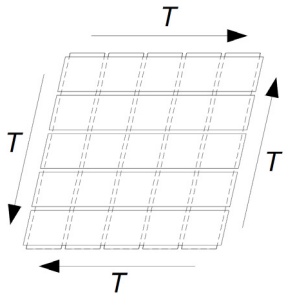


Figure 30: Cisaillement en section brute

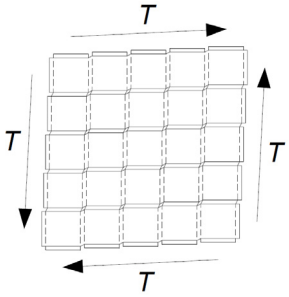


Figure 31: Cisaillement en section nette des joints entre les planches

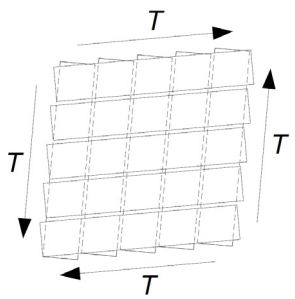


Figure 32: Cisaillement de torsion au croisement des planches collées entre plis (Torsion aux interfaces de collage)

<u>Mode I</u> : Cisaillement du panneau en section brute

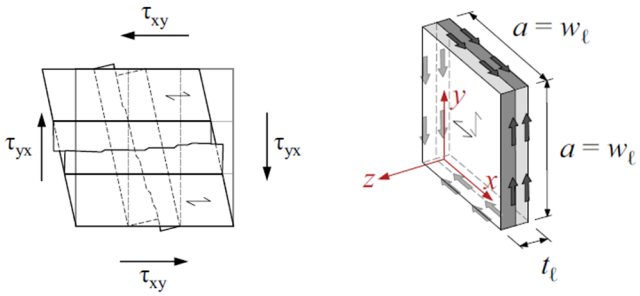


Figure 33: Représentation schématique du mécanisme de cisaillement d'un panneau CLT en section brute.

Le cisaillement du panneau entier en section brute doit satisfaire les conditions suivantes :

$$\tau_{I,v,d} = \tau_{xy,gross,d} = \frac{V_d}{b \cdot D} = \frac{V_d}{A_{Gross}} \leq f_{v,xy,gross,d} \qquad \text{Eq. 77}$$

avec

$$f_{v,xy,gross,k} = 3{,}5\ N/mm^2$$

$$f_{v,xy,gross,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,xy,gross,k}}{\gamma_{m,CLT}} \qquad \text{Eq. 78}$$

où :

V_d	effort tranchant agissant sur le panneau CLT [N] ;
b	la largeur du panneau [mm] ;
D	l'épaisseur totale du panneau [mm] ;
$\tau_{xy,gross,d}$	contrainte de cisaillement de calcul dans la section brute du panneau CLT [N/mm²] ;
$f_{v,xy,gross,k}$	résistance caractéristique au cisaillement dans le plan de la section brute du panneau CLT, en accord avec [21] [N/mm²] ;
$f_{v,xy,gross,d}$	résistance de calcul au cisaillement dans le plan de la section brute du panneau CLT [N/mm²] ;
k_{mod}	facteur modificatif (conformément à la norme NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
$\gamma_{m,CLT}$	coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (EN1995-1-1, Table 2.3). Selon l'annexe nationale autrichienne ÖNORM B 1995-1-1 :2014 NA, chapitre K.2.4, $\gamma_{m,CLT} = 1{,}25$.

Pour les deux autres modes de rupture (mode II et III), une méthode alternative à celle décrite au §4.3.4.2 du e-cahier du CSTB 3802_P2 est présentée ci-dessous. En cas d'épaisseurs de couche constantes, les deux méthodes produisent des résultats identiques, mais pour des épaisseurs de couches variables, des différences peuvent apparaître.

2.3.6.4.1.1. Elément de Volume Représentatif (RVE)

Un panneau CLT est une structure multicouche avec deux directions principales. La plus petite unité pour les vérifications statiques est l'élément de volume représentatif (RVE).

La taille du RVE en particulier est définie par une surface carrée équivalente à une intersection entre planches croisées ayant pour dimension la largeur d'une planche additionnée à la moitié de l'espacement possible au niveau du joint entre les planches dans la même direction sur les deux côtés. L'épaisseur de chaque RVE du panneau est égale à l'épaisseur totale du panneau CLT (t_{CLT}).

La vérification au cisaillement coplanaire est exécutée sur un élément de volume représentatif (RVE) qui est ensuite sous-divisé en éléments de sous-volume représentatif (RVSE) selon la méthode décrite dans [22] et [23]. Ces derniers ont la même surface carrée et une épaisseur t_i^* qui est composée du minimum des demi-épaisseurs des lamelles adjacentes de part et d'autre des plans de collage, comme plan de symétrie (cf. Figure 34).

Théoriquement, le RVSE est basé sur l'hypothèse d'un nombre infini de couches d'épaisseur constante. Ainsi, les effets de limite, comme conséquence d'un nombre fini de couches, sont négligés. Ces effets doivent être considérés dans une étape séparée, qui sera expliquée plus loin (§ 2.3.6.4.1.3).

Le RVE est uniquement sollicité dans son plan (efforts normaux n_x et n_y, effort tranchant n_{xy}), ainsi les contraintes et déformations sont constantes sur toute l'épaisseur t_{CLT}.

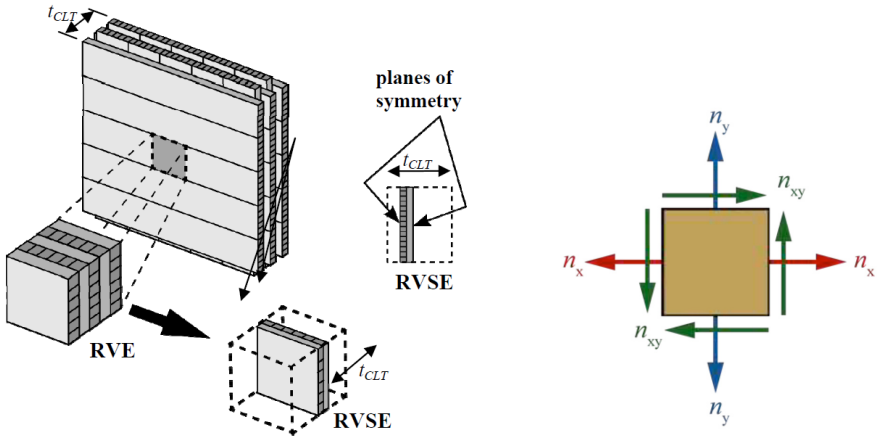


Figure 34: Définition de l'élément de volume représentatif RVE et de sous-volume représentatif RVSE (gauche) et des forces qui s'y appliquent (droite).

Le calcul des contraintes de cisaillement peut être divisé en deux étapes. Dans une première étape, la situation dans l'élément RVSE idéal, qui représente une séquence infinie de couches dans le sens de l'épaisseur, est présentée au § 2.3.6.4.1.2.

Dans une deuxième étape, une adaptation à un élément CLT réel avec un nombre fini de couches est effectuée (cf. § 2.3.6.4.1.3).

2.3.6.4.1.2. Force de cisaillement n_{xy} dans le RVSE

Etant donné qu'un élément de sous-volume représentatif (RVSE) fait partie d'une séquence infinie de RVSE, il n'est pas possible de déterminer une force de cisaillement globale n_{xy} dans ce cas théorique. Il est seulement possible de calculer une force de cisaillement proportionnelle $n_{xy,RVSE(i)}$ qui agit dans un seul RVSE. La contrainte de cisaillement nominale τ_0 associée à ce volume peut être calculée avec l'équation suivante :

$$\tau_0 = \frac{n_{xy,RVSE}}{a \cdot t} \qquad \text{Eq. 79}$$

avec

$n_{xy,RVSE}$	Force de cisaillement proportionnelle au volume considéré RVSE [N/mm] ;
a	Largeur d'une planche de la section considérée [mm] ;
t	Epaisseur de la section considérée [mm] ;
τ_0	Contrainte nominale de cisaillement [N/mm²].

La contrainte de cisaillement nominale τ_0 ne prend pas en compte la structure interne de l'élément CLT. Les contraintes de cisaillement τ_0 agissent à la fois sur les sections transversales (bois de bout) et les chants des planches (cf. Figure 35).

Jusqu'à cette étape, la structure interne du CLT reste inconsidérée. Dans un élément CLT, les forces de cisaillement ne sont transmises que par les sections transversales perpendiculaires au fil du bois, d'un RVSE à l'autre.

Même si les chants des lamelles qui composent les plis des panneaux CLT Stora Enso sont collés, les contraintes de cisaillement ne peuvent apparaître que dans les sections transversales des lamelles (bois de bout). Les chants sont exempts de ces contraintes due aux potentielles fissures engendrées par les variations dimensionnelles. Par conséquent, les forces de cisaillement ne peuvent être transférées qu'indirectement à travers le croisement de deux lamelles dans des couches adjacentes.

En raison des forces de cisaillement agissant dans différents plans, des contraintes de torsion se produisent dans l'interface collée entre planches. (cf. Figure 37). Un moment de torsion interne, agissant sur les deux côtés de l'interface de collage, élimine toutes les contraintes de cisaillement situées sur les chants des planches. Simultanément, les contraintes de cisaillement situées dans les sections transversales sont doublées. La situation de contrainte finale réelle dans l'élément CLT est illustrée en Figure 36.

Les contraintes de cisaillement τ_V d'un RVSE dans les zones de section transversale peuvent être calculées avec l'équation suivante :

$$\tau_V = 2 \cdot \tau_0 \qquad \text{Eq. 80}$$

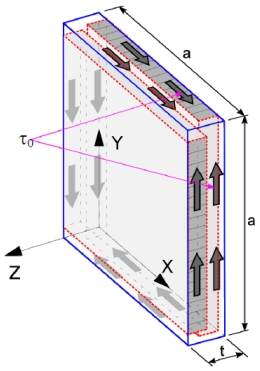


Figure 35 : Contrainte de cisaillement nominale τ_0 dans un RSVE avec les chants collés et exempt de toutes fissures.

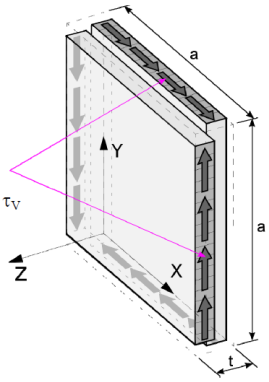


Figure 36: Distribution de contrainte de cisaillement réelle τ_V dans un RSVE (Mode 2)

Avec :

τ_V Contrainte de cisaillement réelle dans le volume RVSE [N/mm²] ;

τ_0 Contrainte de cisaillement nominale [N/mm²].

La deuxième vérification doit être effectuée pour les contraintes de torsion dans l'interface de collage dues au mode de rupture 3 (Figure 37).

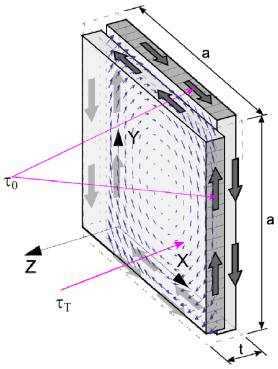


Figure 37: Contraintes de torsion due au cisaillement dans l'interface de collage du RVSE

Le moment de torsion est calculé par :

$$M_T = a^2 \cdot t \cdot \tau_0 \qquad \text{Eq. 81}$$

Les contraintes maximales de torsion sont définies en divisant le moment de torsion M_T par le moment d'inertie polaire W_P.

$$\tau_T = \frac{M_T}{W_P} = \frac{\tau_0 \cdot t \cdot a^2}{\frac{a^3}{3}} = 3 \cdot \tau_0 \cdot \frac{t}{a} \qquad \text{Eq. 82}$$

avec

t Epaisseur de la section considérée [mm].

a Largeur d'une planche de la section considérée [mm].

τ_v et τ_T sont donc les contraintes à vérifier pour les modes de rupture 2 et 3. Les valeurs de calcul $\tau_{v,d}$ and $\tau_{T,d}$ sont déterminée avec la contrainte nominale de calcul $\tau_{0,d}$.

Etant donné que les contraintes de torsion $\tau_{T,d}$ sont dépendantes du ratio (t/a), le RVSE à vérifier est donc le plus épais de la composition du panneau.

2.3.6.4.1.3. Force de cisaillement n_{xy} dans le panneau CLT Stora Enso

Lorsqu'un élément CLT avec son nombre impair de plis est considéré, les différences suivantes au niveau du sous-volume représentatif RVSE se produisent :

- le nombre de plis orientés dans les deux directions principales de l'élément CLT n'est plus le même ;
- l'épaisseur des plis n'est pas nécessairement constante ;
- le plan de symétrie au milieu des lamelles est modifié en raison de la limite du volume.

La vérification de l'élément CLT doit être effectuée en vérifiant une série de RVSE idéals, qui sont ajustés à l'élément CLT correspondant. Le RVSE correspond à une interface de collage entre deux lamelles adjacentes dans l'élément CLT (espacement inclus) multipliée par l'épaisseur idéale t_i^*présentée dans le Tableau 9.

Avec ce modèle, le nombre fini de couches et les épaisseurs variables de plis sont également considérés. Il s'agit d'une méthode sécuritaire car, dans le cas de plis adjacents d'épaisseurs différentes, la plus faible est prise en compte pour le RVSE "i".

Interface RVSE	Plis	Epaisseur idéale
interface 1 (= extérieur)	pli 1 (extérieur) pli 2 (intérieur)	$t_1{}^* = min(2 \cdot t_1; t_2)$
interface *i* (=intérieur)	pli *i* (intérieur) pli *i*+1 (intérieur)	$t_i{}^* = min(t_i; t_{i+1})$
interface *n*-1 (=extérieur)	pli *n*-1 (intérieur) pli *n* (extérieur)	$t_{n-i}{}^* = min(t_{n-i}; 2 \cdot t_n)$

Tableau 9 : Détermination des épaisseurs idéales $t_i{}^*$ d'un élément CLT de n-plis.

Néanmoins, une exception peut être admise. Les plis extérieurs qui sont liés à la première ou à la dernière interface de collage, sont collées sur une seule face. Par conséquent, l'épaisseur du premier et du dernier RVSE idéal situé à un pli extérieur, est soit deux fois l'épaisseur des plis extérieurs, soit l'épaisseur du pli intérieur, cette dernière étant la plus faible.

Un élément CLT 5 plis est illustré en Figure 38. Quatre RVSE idéals, reliés aux interfaces de collage, sont représentés. Les épaisseurs idéales pour chaque RVSE, notée $\boldsymbol{t_i{}^*}$ peuvent être calculées comme indiqué dans les tableaux ci-dessous.

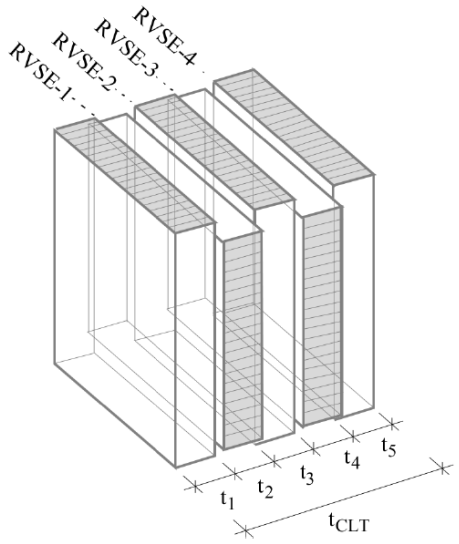


Figure 38: Sous-volumes représentatif (RVSE) pour un élément CLT en 5 plis

Tableau 10: Epaisseurs de RVSE pour un élément CLT en 5 plis

$RVSE_{(i)}$	Epaisseur idéale $\boldsymbol{t_i{}^*}$
1	$t_1{}^* = min(2 \cdot t_1; t_2)$
2	$t_2{}^* = min(t_2; t_3)$
3	$t_3{}^* = min(t_3; t_4)$
4	$t_4{}^* = min(t_4; 2 \cdot t_5)$

Tableau 11: Epaisseurs de RVSE pour un élément CLT en 3 plis

$RVSE_{(i)}$	Epaisseur idéale $\boldsymbol{t_i{}^*}$
1	$t_1{}^* = min(2 \cdot t_1; t_2)$
2	$t_2{}^* = min(t_2; 2 \cdot t_3)$

L'épaisseur totale de tous les RVSE est la somme des épaisseurs de RVSE idéals du panneau (cf. Eq. 83) et est toujours inférieure ou égale à l'épaisseur globale géométrique t_{CLT} de l'élément CLT. Habituellement, la symétrie est donnée dans le sens de l'épaisseur, ce qui donne : $t_4 = t_2$ et $t_5 = t_1$. La détermination de l'épaisseur idéale des volumes RVSE doit être effectuée de manière analogue pour les éléments CLT à 3 ,5 ,7 plis ou plus. Les épaisseurs idéales des RVSE sont données à titre d'exemple dans le Tableau 10 (CLT 5 plis) et Tableau 11 (CLT 3 plis).

$$t^* = \sum_{i=1}^{n-1} t_i{}^* \leq t_{CLT} \qquad \text{Eq. 83}$$

n est le nombre de plis.

La force de cisaillement proportionnelle $n_{xy,RVSE(i)}{}^*$ du i[ème] RVSE dans un élément CLT à n plis peut être déterminée par l'équation suivante, qui suppose une répartition de la force de cisaillement globale n_{xy} sur chaque RVSE par rapport à leur épaisseurs respectives.

$$n_{xy,RVSE(i)}{}^* = n_{xy} \cdot \frac{t_i{}^*}{t^*} = n_{xy} \cdot \frac{t_i{}^*}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i{}^*} \qquad \text{Eq. 84}$$

Avec :

$t_i{}^*$	Epaisseur du RVSE (i) considéré [mm] ;
$n_{xy,RVSE(i)}{}^*$	Force de cisaillement proportionnelle au volume RVSE considéré [N/mm] ;
n_{xy}	Force de cisaillement globale [N/mm].

La contrainte de cisaillement nominale idéale $\tau_{0,RVSE(i)}{}^*$ peut être calculée en divisant la force de cisaillement proportionnelle $n_{xy,RVSE(i)}{}^*$ par l'épaisseur $t_i{}^*$ du i[ème] RVSE. Cela conduit à une contrainte de cisaillement nominale constante $\tau_{0,d}{}^*$ pour tous les RVSE, comme présenté dans l'équation suivante.

$$\tau_{0,RVSE(i)}{}^* = \frac{n_{xy} \cdot \frac{t_i{}^*}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i{}^*}}{t_i{}^*} = \frac{n_{xy}}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i{}^*} = \tau_{0,d}{}^* \qquad \text{Eq. 85}$$

<u>Mode II</u> : Cisaillement du panneau en section nette des joints entre les planches

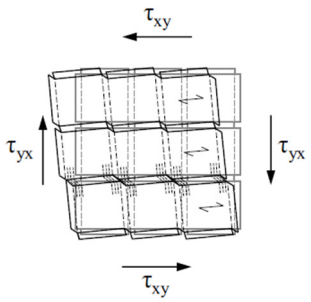


Figure 39: Représentation schématique du mécanisme de cisaillement d'un panneau CLT en section nette.

La contrainte de cisaillement réelle de calcul pour la vérification aux ELU est calculée de la même façon que pour le volume représentatif avec l'équation suivante :

$$\tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{0,d}{}^{*} \quad \text{Eq. 86}$$

où :

$\tau_{0,RVSE(i)}{}^{*}$ contrainte de cisaillement nominale proportionnelle au RVSE (i) [N/mm²] ;

$\tau_{0,d}{}^{*}$ contrainte de cisaillement nominale de calcul, pour tous les RVSE (constante) [N/mm²] ;

$\tau_{v,d}$ contrainte de cisaillement réelle de calcul d'un RVSE en section transversale [N/mm²].

Le cisaillement du panneau en section nette doit satisfaire la condition suivante :

$$\tau_{II,v,d} = \tau_{v,d} = \tau_{xy,net,d} \leq f_{v,xy,net,d} \quad \text{Eq. 87}$$

avec

$$f_{v,xy,net,k} = 8{,}0\ N/mm^2$$

$$f_{v,xy,net,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,xy,net,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 88}$$

où :

$\tau_{xy,net,d}$ contrainte de cisaillement de calcul dans la section nette du panneau CLT [N/mm²] ;

$f_{v,xy,net,k}$ résistance caractéristique au cisaillement dans le plan de la section nette du panneau CLT, en accord avec [21] [N/mm²];

$f_{v,xy,net,d}$ résistance de calcul au cisaillement dans le plan de la section nette du panneau CLT [N/mm²];

k_{mod} Facteur modificatif (conformément à la norme NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;

$\gamma_{m,CLT}$ coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (EN1995-1-1, Table 2.3). Selon l'annexe nationale autrichienne ÖNORM B 1995-1-1 :2014 NA, chapitre K.2.4, $\gamma_{m,CLT} = 1{,}25$.

<u>Mode III</u> : Cisaillement du panneau au croisement des planches collées entre plis (Torsion aux interfaces de collage)

Cette vérification doit être effectuée pour les contraintes de torsion dans l'interface de collage en raison du mode de rupture II. Chaque interface de collage du RVE doit être vérifiée. Le RVSE comprenant la plus grande épaisseur idéale $t_i{}^{*}$ est celui qui recevra le moment de torsion maximum.

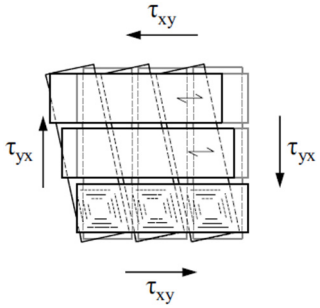


Figure 40: Représentation schématique du mécanisme de cisaillement d'un panneau CLT au croisement des planches.

Le moment de torsion est calculé par :

$$M_{T,i} = a^2 \cdot t_i{}^{*} \cdot \tau_{0,d}{}^{*} \quad \text{Eq. 89}$$

Les contraintes de torsion sont définies en divisant le moment de torsion $M_{T,i}$ par le module de résistance polaire W_P:

$$\tau_{T,d} = \frac{M_{T,i}}{W_P} = \frac{\tau_{0,d}{}^* \cdot t_i{}^* \cdot a^2}{\frac{a^3}{3}} = 3 \cdot \tau_{0,d}{}^* \cdot \frac{t_i{}^*}{a}$$ Eq. 90

$$W_P = \frac{I_P}{\frac{a}{2}} = \frac{a^3}{3}$$ Eq. 91

Le module de résistance polaire W_P est obtenu en divisant l'inertie polaire de l'interface de collage I_P par la distance au bord $\frac{a}{2}$ (hypothèse pour la dimension d'interface de collage : $a \times a$).

$$I_P = I_y + I_z = \frac{a \cdot a^3}{12} + \frac{a^3 \cdot a}{12} = \frac{a^4}{6}$$ Eq. 92

où :

$M_{T,i}$	moment de torsion de calcul dans le $RVSE(i)$ [N.mm] ;
a	dimension de l'interface de collage, identique à la largeur de lamelle [mm] ;
$t_i{}^*$	épaisseur idéale la plus grande correspondante au $RVSE(i)$ du panneau [mm] ;
$\tau_{0,d}{}^*$	contrainte de cisaillement nominale de calcul, pour tous les RVSE (constante) [N/mm²] ;
$\tau_{T,d}$	contrainte de torsion de calcul maximale [N/mm²] ;
I_P	inertie polaire de l'interface de collage [mm^4] ;
W_P	module de résistance polaire [mm^3].

Le cisaillement du panneau au croisement des planches collées entre plis doit satisfaire la condition suivante :

$$\tau_{III,T,d} = \tau_{T,d} \leq f_{T,xy,d}$$ Eq. 93

avec

$f_{T,xy,CLT,k} = 2{,}5\ N/mm^2$ (Epicéa)

$f_{T,xy,CLT,k} = 3{,}0\ N/mm^2$ (Pin)

$$f_{T,xy,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{T,xy,k}}{\gamma_{m,CLT}}$$ Eq. 94

où :

$f_{T,xy,d}$	résistance caractéristique au cisaillement de torsion du plan de collage entre plis croisés collés du panneau CLT, en accord avec [21] [N/mm²];
$f_{v,xy,net,d}$	résistance de calcul au cisaillement dans le plan de la section nette du panneau CLT [N/mm²];
k_{mod}	Facteur modificatif (conformément à la norme NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
$\gamma_{m,CLT}$	coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (EN1995-1-1, Table 2.3). Selon l'annexe nationale autrichienne ÖNORM B 1995-1-1 :2014 NA, chapitre K.2.4, $\gamma_{m,CLT} = 1{,}25$.

2.3.7. États limites de services (ELS)

2.3.7.1. Déformation

Les valeurs limites pour la déformation sont conformes à la norme NF EN 1995-1-1 [2] et de l'annexe nationale applicable. La déformation doit également être limitée afin que l'action des structures adjacentes et que le fonctionnement prévu du bâtiment ne soient pas perturbés.

Les dispositions du § 1.4.1.5 de l'annexe de la partie Avis s'appliquent.

Lors du calcul des déformations instantanées du caisson nervuré, la déformation due au cisaillement doit être prise en compte et il convient de tenir compte des valeurs moyennes de rigidité et la section efficace doit être utilisée dans les calculs. La combinaison d'état limite de service est utilisée.

On a la flèche instantanée w_{inst}:

$$w_{inst} = \underbrace{\sum_{j \geq 1} w_{inst,G,j} + w_{inst,Q1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique}$$ Eq. 95

On a la flèche finale w_{fin} :

$$w_{fin} = \underbrace{w_{inst}}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique} + \underbrace{w_{creep}}_{Combinaison\ de\ charges\ quasi-permanente}$$ Eq. 96

$$w_{fin} = \underbrace{\sum_{j \geq 1} w_{inst,G,j} + w_{inst,Q1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique} + \underbrace{\left[\sum_{j \geq 1} w_{inst,G,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i}\right] \cdot k_{def,i}}_{Combinaison\ de\ charges\ quasi-permanente}$$

Flèche résultante finale $w_{net,fin}$:

$$w_{net,fin} = \underbrace{w_{inst} + w_{creep}}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique+\ quasi-permanente} - \underbrace{w_c}_{contre\ flèche} \qquad \text{Eq. 97}$$

$$w_{net,fin} = \underbrace{\sum_{j\geq 1} w_{inst,G,j} + w_{inst,Q1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique} + \underbrace{\left[\sum_{j\geq 1} w_{inst,G,j} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i}\right] \cdot k_{def,i}}_{Combinaison\ de\ charges\ quasi-permanente} - w_c$$

N.b : Ces équations s'appliquent si le coefficient k_{def} est considéré uniforme pour la totalité de la section (méthode simplifiée § 2.3.7.2.2).

On a :

$W_{inst,G}$ est la déformation instantanée due à l'action G ;

$W_{inst,Q,1}$ est la déformation instantanée due à l'action Q1 ;

$W_{inst,Q,i}$ est la déformation instantanée due à l'action Qi.

2.3.7.2. Introduction du facteur de déformation k_{def} (fluage) dans un système hybride

2.3.7.2.1. Méthode précise

La méthode la plus précise consiste à intégrer le facteur k_{def} dans la rigidité en flexion et la rigidité en cisaillement pour chaque section/matériau partiel.

La rigidité efficace en flexion est définie au § 2.3.5.3.

Les équations ci-dessous illustrent la méthode, en tenant compte des conditions suivantes :

- Poutre à travée simple ;
- Appuis articulés ;
- Chargement continu (uniformément réparti) ;
- Chargement unitaire, « 1 » ;
- K_{def} intégrés dans les rigidités (instantanée et finale)
- La déformation due au cisaillement est prise en compte ;
- Rigidité en cisaillement prenant en compte la section composée.

$$w_{1,inst} = \underbrace{\frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ moment\ fléchissant} + \underbrace{\frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ cisaillement} \qquad \text{Eq. 98}$$

$$w_{1,creep} = \underbrace{\frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,creep,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ moment\ fléchissant} + \underbrace{\frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,creep,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ cisaillement} \qquad \text{Eq. 99}$$

Déformations dues au moment fléchissant $[mm/\frac{kN}{m}]$:

$$w_{net,fin} = \frac{5 \cdot q_{inst} \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}} + \frac{5 \cdot q_{creep} \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,creep,ef}}$$

Déformations dues au cisaillement $[mm/\frac{kN}{m}]$:

$$w_{net,fin} = \frac{q_{inst} \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}} + \frac{q_{creep} \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,creep,ef}}$$

avec :

q_{inst}, la combinaison de charge caractéristique ;

q_{creep}, la combinaison de charge quasi-permanente.

En considérant :

$$(EI)_{y,ef} = \sum_i E_i . I_{y,i} + \sum_i E_i . A_i . e_i^2 \qquad \text{Eq. 100}$$

$$(EI)_{y,creep,ef} = \sum_i E_{i,creep} . I_{y,i} + \sum_i E_{i,creep} . A_i . e_i^2 \qquad \text{Eq. 101}$$

et

$$(GA)_{y,ef} = \sum_i (G_{i,inst} \cdot A_i) \cdot \kappa \qquad \text{Eq. 102}$$

$$(GA)_{creep,ef} = \sum_i (G_{i,creep} \cdot A_i) \cdot \kappa \qquad \text{Eq. 103}$$

κ : Coefficient de correction du cisaillement (§ 2.3.5.4)

Pour le calcul des valeurs de la section transversale aux calculs ELS, la largeur efficace b_{ef} est déterminée suivant les règles de chargement uniformément réparti à mi-travée étant donné qu'aucun effet dû à des charges ponctuelles (aux appuis) n'est considéré, la largeur ainsi déterminée est plus ou moins constante sur toute la longueur de la poutre.

avec : (Tableau 5)

$$E_{CLT,creep} = \frac{E_{0,mean,CLT}}{K_{def,CLT}} \quad \text{Eq. 104}$$

$$G_{CLT,creep} = \frac{G_{0,mean,CLT}}{K_{def,CLT}} \quad \text{Eq. 105}$$

$$E_{GLT,creep} = \frac{E_{0,mean,GLT}}{K_{def,GLT}} \quad \text{Eq. 106}$$

$$G_{GLT,creep} = \frac{G_{0,mean,GLT}}{K_{def,GLT}} \quad \text{Eq. 107}$$

Résumé des déformations :

$$w_{inst} = w_{1,inst} \cdot (g_{1,k} + g_{2,k} + q_k) \cdot b \quad \text{Eq. 108}$$

$$w_{net,fin} = \left\{ w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + q_{1,k}]}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique} + w_{1,creep} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + \psi_2 \cdot q_{1,k}]}_{Combinaison\ de\ charges\ quasi-permanente} \right\} \cdot b \quad \text{Eq. 109}$$

$$w_{fin} = \left\{ w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + q_{1,k}]}_{Combinaison\ de\ charges\ caractéristique} + w_{1,creep} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + \psi_2 \cdot q_{1,k}]}_{Combinaison\ de\ charges\ quasi-permanente} \right\} \cdot b \quad \text{Eq. 110}$$

2.3.7.2.2. Méthode simplifiée

La majeure partie de la rigidité à la flexion est assurée par la nervure dans le système de caisson nervuré. Comme expliqué précédemment, il est aussi possible d'appliquer un coefficient de fluage uniforme $k_{def,uniforme}$ à l'ensemble du système.

Les équations ci-dessous illustrent la méthode, en tenant compte des conditions suivantes :

- Poutre à travée simple ;
- Appuis articulés ;
- Chargement continu (uniformément réparti) ;
- Chargement unitaire, « 1 » ;
- La déformation due au cisaillement est prise en compte ;
- k_{def} uniforme appliqué uniquement à la déformation due au fluage (non intégrés dans les rigidités) ;
- Rigidité en cisaillement prenant en compte la section composée.

Dans ce cas, un k_{def} uniforme est calculé comme indiqué dans l'Eq. 1.

$$w_{1,inst} = \underbrace{\frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ moment\ fléchissant} + \underbrace{\frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ cisaillement} \quad \text{Eq. 111}$$

$$w_{1,creep} = \left(\underbrace{\frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ moment\ fléchissant} + \underbrace{\frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}}}_{Déformation\ due\ au\ cisaillement} \right) \cdot K_{def,uniforme} \quad \text{Eq. 112}$$

Résumé des déformations :

$$w_{inst} = w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + q_{1,k}]}_{charges\ caractéristique} \cdot b \quad \text{Eq. 113}$$

$$w_{fin} = \left\{ w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + q_{1,k}]}_{charges\ caractéristique} + w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + \psi_2 \cdot q_{1,k}]}_{charges\ quasi-permanente} \cdot k_{def,uniforme} \right\} \cdot b \quad \text{Eq. 114}$$

$$w_{net,fin} = \left\{ w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + q_{1,k}]}_{charges\ caractéristique} + w_{1,inst} \cdot \underbrace{[g_{1,k} + g_{2,k} + \psi_2 \cdot q_{1,k}]}_{charges\ quasi-permanente} \cdot k_{def,uniforme} \right\} \cdot b \quad \text{Eq. 115}$$

Une différence de flèche par rapport au calcul en appliquant la méthode précise d'environ 9% est attendue. La méthode simplifiée étant du côté sécuritaire.

2.3.7.3. Vibration

Le contrôle de la vibration se fait en fixant des limites à la fréquence propre et à la rigidité. Dans le calcul, les valeurs moyennes sont utilisées.

L'analyse de la vibration doit être effectuée conformément à la norme NF EN 1995-1-1 [2] et à l'annexe nationale applicable.

Dans le cas où l'annexe nationale applicable de l'Eurocode s'écarte des recommandations données dans ce document, l'annexe nationale prévaut. Actuellement, l'annexe nationale autrichienne de la norme ÖNORM EN 1995-1-1 contient les vérifications à la vibration les plus complètes, qui sont étroitement liées aux résultats de recherche de Patricia Richter et Antje Hamm [24].

On doit alors vérifier :

- Critère de classe :

Plancher classe I	**Plancher classe II**
Un élément de plancher portant sur différentes unités d'occupation (appartements avec différents occupants) sur le même niveau.	Un élément de plancher portant sur la même unité d'occupation (appartements avec le même occupant) sur le même niveau.
Chape flottante humide installée au-dessus d'un remblai granulaire léger ou lourd.	Chape humide installée avec ou sans remplissage granulaire au-dessous.
Chape sèche installée au-dessus d'un remblai granulaire lourd (> 60 kg/m²)	

- Critère de fréquence :

Plancher classe I	**Plancher classe II**
$f_1 \geq 8$ Hz	$f_1 \geq 6$ Hz

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{(EI)_{l,ef}}{m}} \cdot \underbrace{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{b_R}\right)^4 \cdot \frac{(EI)_{b,ef,1m}}{(EI)_{l,ef,1m}}}}_{rigidité\ dans\ le\ sens\ transversal} \qquad \text{Eq. 116}$$

f_1	Fréquence fondamentale [Hz] ;
$(EI)_{l,ef,1m}$	Rigidité à la flexion du caisson nervuré dans le sens longitudinal pour un élément large de 1m (si l'espacement des nervures n'est pas exactement 1m → extrapolation à une largeur de 1m) en [Nm² / m]. La rigidité à la flexion est basée sur la valeur moyenne du module de Young et le moment d'inertie efficace. Si une chape est présente dans un revêtement de sol, la rigidité de la chape $(EI)_{chape}$ est également ajoutée ;
$(EI)_{b,ef,1m}$	Similaire à $(EI)_{l,eff,1m}$, uniquement en direction transversale (perpendiculaire à la direction du sens porteur [Nm² / m].) Dans le cas d'un caisson nervuré, c'est la rigidité en flexion dans le sens transversal du CLT + la rigidité de la chape, si présente ;
m	Masse de la structure de l'élément en kg/m² = $\sum_{i \geq 1} G_{k,i}$ [kg/m²] ;
b_R	Largeur totale du plancher (n'est pas nécessairement limitée à la largeur du panneau (Souvent la largeur de la pièce) [m] ;
l	Portée [m].

- Critère d'accélération (est optionnel, à vérifier si le critère de fréquence n'est pas rempli)

Plancher classe I	**Plancher classe II**
$f_1 \geq 4{,}5$ Hz	$f_1 \geq 4{,}5$ Hz
$a_{rms} \leq 0{,}05$ m/s²	$a_{rms} \leq 0{,}10$ m/s²

$$a_{rms} = \frac{0{,}4 \cdot e^{-0{,}47 \cdot f_1} \cdot F_0}{2 \cdot \zeta \cdot \underbrace{\left[\frac{m \cdot l \cdot b_R}{2}\right]}_{modal\ mass\ M^*}} \qquad \text{Eq. 117}$$

f_1	Fréquence fondamentale
F_0	Force de 700N (Défini dans l'annexe nationale autrichienne, lié au poids moyen d'un homme)
ζ	Rapport d'amortissement modal. Pour les caissons nervurés, un coefficient d'amortissement de 4% est considéré (0,04)
m	Masse de la structure de l'élément en kg/m² = $\sum_{i \geq 1} G_{k,i}$ [kg/m²]
b_R	Largeur totale du plancher (n'est pas nécessairement limitée à la largeur du panneau (Souvent la largeur de la pièce)
l	Portée [m]

- Critère de rigidité :

Plancher classe I	Plancher classe II
$w_{1kN} \leq 0{,}25$ mm	$w_{1kN} \leq 0{,}50$ mm

$$w_{1kN} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (EI)_{l,ef,1m} \cdot \left[\frac{l}{1{,}1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_{b,ef,1m}}{(EI)_{l,ef,1m}}}\right]} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot (GA)_{l,ef,1m} \cdot \left[\frac{l}{1{,}1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_{b,ef,1m}}{(EI)_{l,ef,1m}}}\right]} \qquad \text{Eq. 118}$$

$(EI)_{l,ef,1m}$	Rigidité à la flexion du caisson nervuré dans le sens longitudinal pour un élément large de 1m (si l'espacement des nervures n'est pas exactement 1m → extrapolation à une largeur de 1m) en [Nm²/m]. La rigidité à la flexion est basée sur la valeur moyenne du module de Young et le moment d'inertie efficace. Si une chape est présente dans en revêtement de sol, la rigidité de la chape $(EI)_{chape}$ est également ajoutée ;
$(EI)_{b,ef,1m}$	Similaire à $(EI)_{l,ef,1m}$, uniquement en direction transversale (perpendiculaire à la direction du sens porteur [Nm² / m].) Dans le cas d'un caisson nervuré, c'est la rigidité en flexion dans le sens transversal du CLT + la rigidité de la chape, si présente ;
F	Charge ponctuelle de 1 KN;
$(GA)_{l,ef,1m}$	Rigidité en cisaillement du caisson nervuré dans la direction longitudinale pour un élément large de 1m (si l'espacement des nervures n'est pas exactement 1m → extrapolation à une largeur de 1m) en [Nm²/m] ;
l	Portée [m].

La vérification de la vibration est résumée dans l'organigramme suivant :

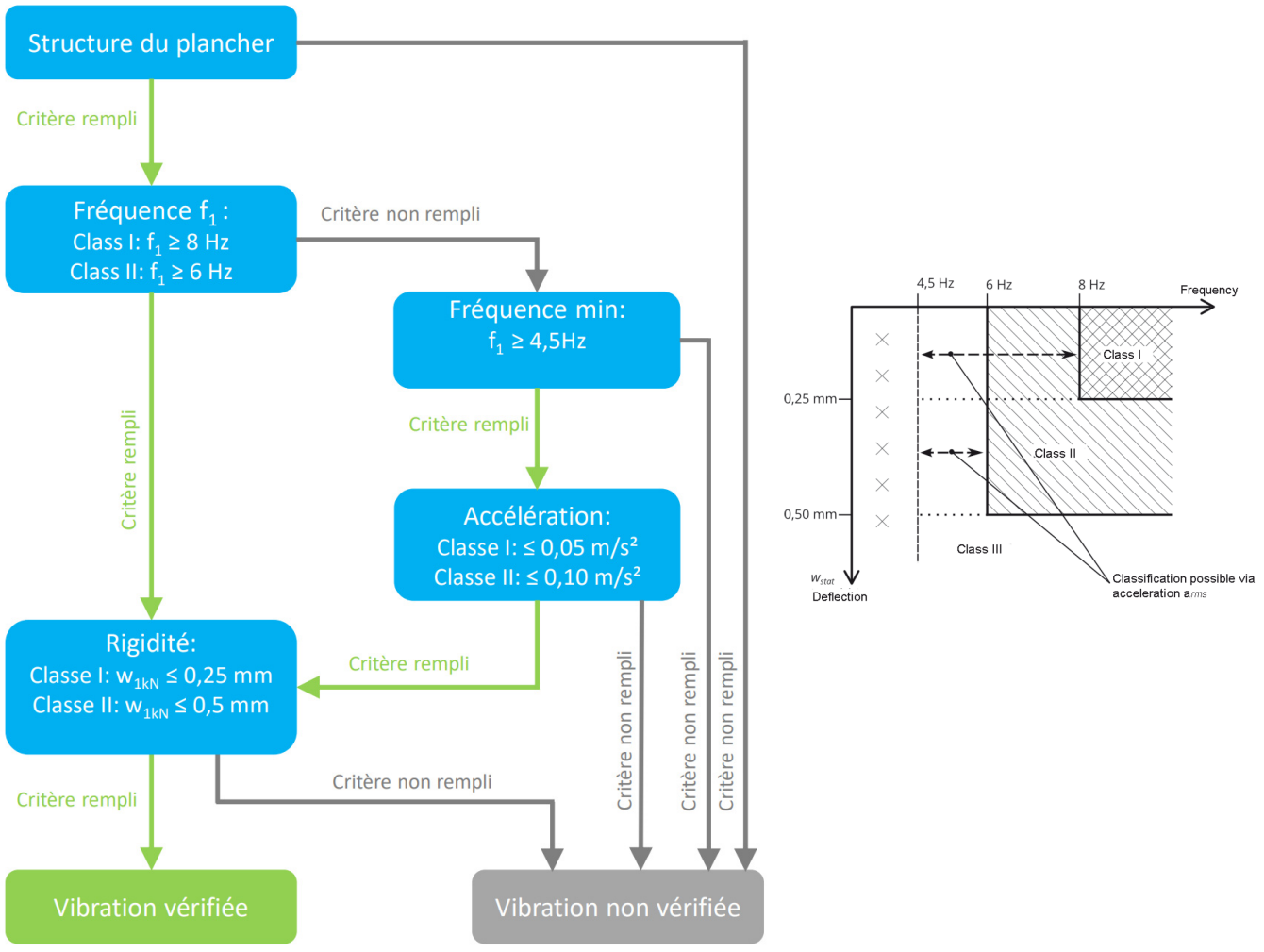


Figure 41 : Organigramme pour la vérification à la vibration

2.3.8. Dimensionnement des appuis

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent être supportés de différentes manières en fonction des détails structurels qui influencent le type de vérification au niveau des appuis.

Le présent chapitre décrit le dimensionnement des appuis de caissons nervurés Sylva™ CLT Rib soumis à une pression perpendiculaire aux fibres. En raison de la rigidité des nervures, toute la charge provenant du caisson nervuré entier (poids propre + surcharges supplémentaires) est dirigée vers les appuis à travers la surface porteuse des nervures (flèches rouges dans la Figure 15).

Tout chargement linéaire de mur donné, reposant sur le dessus du caisson nervuré sera dirigé à travers les entretoises entre les nervures dans les appuis (flèches bleues dans la Figure 15). Dans le cas où un mur repose sur le dessus du caisson nervuré au niveau de la ligne d'appuis, les entretoises entre les nervures sont obligatoires pour créer un transfert continu et reprendre la compression de manière uniforme. Une description du rôle joué par les entretoises en appui d'extrémité simple est fournie au § 2.2.4.6 du présent dossier technique (cf. la Figure 15 pour l'illustration des forces transférées).

2.3.8.1. Dimensionnement des appuis simples avec ou sans entretoises

2.3.8.1.1. Compression perpendiculaire au fil transférée à travers les nervures

Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib ouvert :

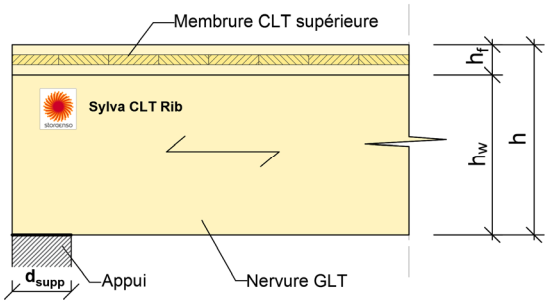


Figure 42: Appui simple de caisson nervuré – Sylva™ CLT Rib ouvert

Dans le cas d'un caisson nervuré ouvert, les équations suivantes doivent être satisfaites pour les nervures :

Nervure:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,GLT,d} \qquad \text{Eq. 119}$$

avec:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_d}{b_{rib} \cdot (d_{supp} + 30mm)} \qquad \text{Eq. 120}$$

où :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact efficace perpendiculaire au fil [N/mm²] ;
$k_{c,90}$	Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression, en accord avec EN 1995-1-1 [25], chapitre 6.1.5 (4). [-]
$f_{c,90,GLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil du lamellé collé [N/mm²] ;
F_d	Valeur de calcul de la réaction à l'appui par nervure, provenant du caisson et des charges qui y sont appliquées [N] ;
b_{rib}	Largeur de la nervure [mm] ;
d_{supp}	Largeur d'appuis [mm] ;
$(d_{supp} + 30mm)$	Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec la norme EN 1995-1-1 [25], partie 6.1.5 (1) [mm].

Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib inversé/fermé :

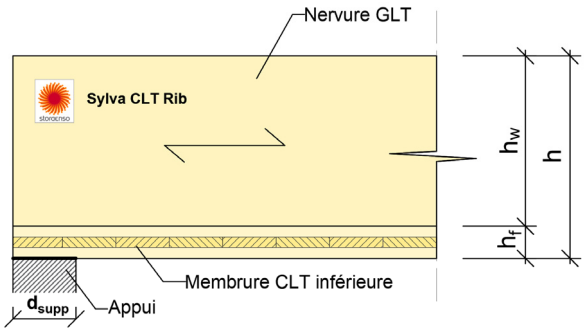


Figure 43: Appui simple de caisson nervuré – Sylva™ CLT Rib inversé

Dans le cas d'un caisson nervuré inversé/fermé, les équations suivantes au niveau de la membrure CLT inférieure doivent être satisfaites :

Membrure:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \qquad \text{Eq. 121}$$

avec:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_d}{w_{ef} \cdot l_{ef}} \qquad \text{Eq. 122}$$

où :

$\sigma_{c,90,d}$ Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact efficace perpendiculaire au fil [N/mm²] ;

$k_{c,90}$ Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression, en accord avec EN 1995-1-1 [25], chapitre 6.1.5 (4) ; voir § 2.3.8.2 du dossier technique pour les valeurs $k_{c,90}$ utilisées. [-]

$f_{c,90,CLT,d}$ Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil du CLT en accord avec [20] [N/mm²] ;

F_d Valeur de calcul de la réaction à l'appui par nervure, provenant du caisson et des charges qui y sont appliquées [N];

b_{rib} Largeur de la nervure [mm] ;

d_{supp} Largeur d'appuis [mm] ;

l_{ef} Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec le § 2.3.8.2 du dossier technique [mm];

$$l_{ef} = 2 \cdot \left(\frac{d_{supp}}{2} + min[a; l_\alpha]\right)$$

l_α Augmentation de longueur de contact en fonction de la composition du panneau CLT (cf. Figure 46) [mm];

w_{ef} Largeur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec le § 2.3.8.2 du dossier technique [mm];

$$w_{ef} = 2 \cdot \left(\frac{b_{rib}}{2} + min[a; w_\alpha]\right)$$

w_α Augmentation de la largeur de contact en fonction de la composition du panneau CLT (cf. Figure 46) [mm];

a Distance entre le bord d'extrémité de la membrure inférieure et le bord extérieur de l'appui, dans le cas où ces derniers ne sont pas alignés (cf. Figure 46) (si la distance est nulle $a = 0$, celle-ci n'est pas considérée et seul un côté (w_α ou l_α selon la direction) est pris en compte pour la dispersion des contraintes [mm];

2.3.8.1.2. Compression perpendiculaire au fil transférée à travers les entretoises

Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib ouvert :

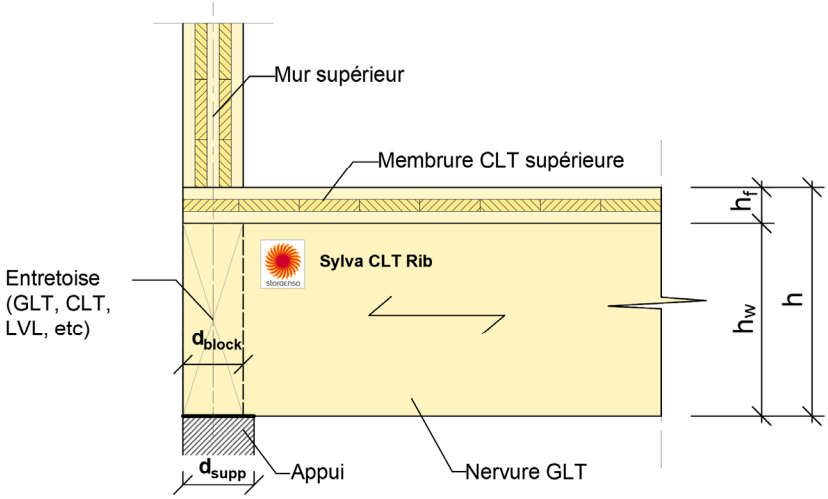


Figure 44: Appui simple de caisson nervuré avec mur supérieur– Sylva™ CLT Rib ouvert

Dans le cas d'un caisson nervuré ouvert soumit à une compression provenant du mur supérieur (charge linéique) reposant sur le caisson nervuré, aligné avec le support, les équations suivantes au niveau des entretoises reposant sur l'appui doivent être satisfaites :

Entretoise:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,block,d} \qquad \text{Eq. 123}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d}}{l_{block} \cdot min\,(d_{supp}; d_{block})} \qquad \text{Eq. 124}$$

Avec :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression perpendiculaire au fil dans la zone comprimée de l'entretoise [N/mm²] ;
$k_{c,90}$	Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression, en accord avec EN 1995-1-1 [25], chapitre 6.1.5 (4) ; (Recommandation pour la situation $k_{c,90} = 1{,}00$) [-] ;
$f_{c,90,block,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil de l'entretoise [N/mm²];
$F_{mur,d}$	Valeur de calcul de la réaction par entretoise, provenant du mur (charge linéique) reposant sur le caisson nervuré, aligné à l'appui [N] ;
l_{block}	Largeur de l'entretoise [mm];
d_{block}	Epaisseur de l'entretoise [mm];
d_{supp}	Largeur du support [mm].

Dans le cas présent, la compression perpendiculaire au fil du bois au niveau de la membrure CLT supérieure doit être vérifiée également :

Membrure supérieure:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \qquad \text{Eq. 125}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d}\,[N/m]}{1m \cdot l_{ef}} \qquad \text{Eq. 126}$$

l_{ef}	Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec le § 2.3.8.2 du dossier technique [mm]; $l_{ef} = t_{mur} + l_{\alpha}$
l_{α}	Augmentation de longueur de contact en fonction de la composition du panneau CLT (cf. Figure 46) [mm];

Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib inversé/fermé :

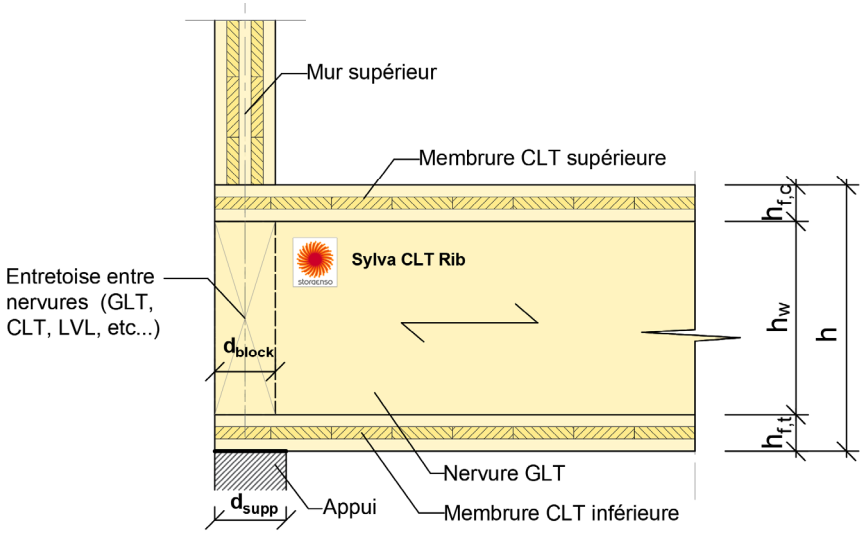


Figure 45: Appui simple de caisson nervuré avec mur supérieur– Sylva™ CLT Rib fermé

Dans le cas d'un caisson nervuré inversé/fermé soumit à une compression provenant du mur supérieur (charge linéaire) reposant sur le caisson nervuré, aligné avec le support, les équations suivantes au niveau de la membrure CLT inférieure reposant sur l'appui doivent être satisfaites :

Membrure inférieure:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \qquad \text{Eq. 127}$$

avec:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d}}{w_{ef} \cdot l_{ef}} \qquad \text{Eq. 128}$$

où :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact efficace perpendiculaire au fil [N/mm²] ;
$k_{c,90}$	Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression, en accord avec EN 1995-1-1 [25], chapitre 6.1.5 (4) ; voir § 2.3.8.2 du dossier technique pour les valeurs $k_{c,90}$ utilisées [-];
$f_{c,90,CLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil du CLT en accord avec [20] [N/mm²] ;

$F_{mur,d}$ Valeur de calcul de la réaction par entretoise, provenant du mur (charge linéique) reposant sur le caisson nervuré, aligné à l'appui [N] ;

l_{ef} Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec le § 2.3.8.2 du dossier technique (entretoise alignée au bord de la membrure) [mm];

$$l_{ef} = min\,(d_{supp}; d_{block}) + l_{\alpha}$$

l_{α} Augmentation de longueur de contact en fonction de la composition du panneau CLT (cf. Figure 46) [mm];

w_{ef} Largeur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil à travers l'entretetoise en accord avec le § 2.3.8.2 du dossier technique [mm];

$$w_{ef} = 2 \cdot \left(\frac{l_{block}}{2} + w_{\alpha}\right)$$

w_{α} Augmentation de la largeur de contact en fonction de la composition du panneau CLT (cf. Figure 46) [mm];

l_{block} Largeur de l'entretoise [mm];

d_{block} Epaisseur de l'entretoise [mm];

d_{supp} Largeur du support [mm].

Dans le cas présent, la compression perpendiculaire au fil du bois au niveau de la membrure CLT supérieure doit être vérifiée également comme présenté pour le Caisson nervuré Sylva™ CLT Rib ouvert dans ce paragraphe.

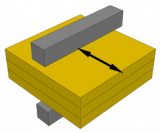
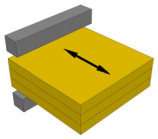
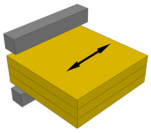
Note : La vérification de la compression perpendiculaire au plan du panneau CLT est aussi décrite dans l'Avis Technique du CLT Stora Enso.

En cas d'entaille au niveau de l'appui dans le CLT, les dispositions du § 2.7.6.7 décrites dans l'Avis Technique du CLT Stora Enso s'appliquent pour la vérification en cisaillement.

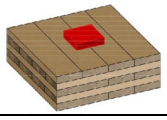
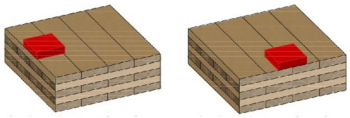
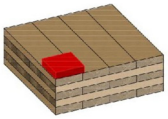
2.3.8.2. Facteur $k_{c,90}$ pour les panneaux CLT

Facteurs issus de l'Annex K de la norme ÖNORM EN1995-1-1 [19]

Les valeurs suivantes du facteur $k_{c,90}$ sont valides pour les situations de transmission de force linéique à l'appui : en accord avec [19].

Transmission de force linéique		$k_{c,90}$
perpendiculaire au sens du fil des plis extérieurs pour un appui continu (central)		1,80
perpendiculaire au sens du fil des plis extérieurs pour un appui discret (extrémité)		1,50
parallèle au sens du fil des plis extérieurs pour un appui discret (extrémité)		1,50

Les valeurs suivantes du facteur $k_{c,90}$ sont valides pour les situations de transmission de force ponctuelle à l'appui : en accord avec [19].

Transmission de force ponctuelle		$k_{c,90}$
pour des distances de rive supérieures à l'épaisseur totale du panneau CLT (central)		1,80
sur la rive du panneau CLT, parallèle au sens du fil des plis extérieurs, perpendiculaire au sens du fil des plis extérieurs		1,50
au niveau des angles du panneau CLT		1,30

Modèle de dispersion des contraintes de Van der Put [26] – Approche alternative

En raison de sa structure orthogonale et de la possibilité d'un transfert de charge dans deux directions, le CLT présente des spécificités qui le différencient clairement du bois de construction traditionnel et du lamellé-collé.

L'application des deux angles α_L et α_T dans l'analyse de la distribution des contraintes d'un pli à l'autre et en fonction des conditions d'appuis (cf. Figure 46) permet d'expliquer directement les différences entre (i) les configurations de charge, (ii) les conditions d'appuis, (iii) la composition et l'épaisseur des éléments CLT, et (iv) les distances aux bords a.

Cela en formulant la surface efficace en compression perpendiculaire : $A_{ef} = w_{ef} \cdot l_{ef}$

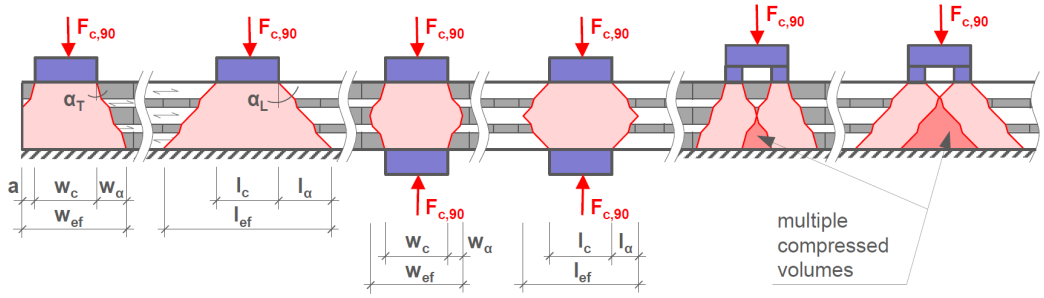


Figure 46: Modèle de distribution pour les contraintes de compression perpendiculaire au fil dans des éléments CLT chargés discrètement, supportés de manière continue ou discrète. [26]

Par conséquent, un modèle de dispersion des contraintes adapté a été formulé :

$$f_{c,90,member} = f_{c,90,prism} \cdot \sqrt{\frac{A_{ef}}{A_c}} = f_{c,90,prism} \cdot \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot w_{ef}}{l_c \cdot w_c}} \qquad \text{Eq. 129}$$

$$k_{c,90} = \sqrt{\frac{A_{ef}}{A_c}} \qquad \text{Eq. 130}$$

avec :

$$A_{ef} = w_{ef} \cdot l_{ef} \qquad \text{Eq. 131}$$

$$w_{ef} = 2 \cdot \left(\frac{w_c}{2} + min[a; w_\alpha]\right) \qquad \text{Eq. 132}$$

$$l_{ef} = 2 \cdot \left(\frac{l_c}{2} + min[a; l_\alpha]\right) \qquad \text{Eq. 133}$$

$\alpha_L = 45°$ et $\alpha_T = 15°$, avec $a \geq (w_{ef}; l_{ef})$

où :

- w_c largeur de contact exacte pour les appuis dans le sens perpendiculaire à la portée [mm] ;
- l_c longueur de contact exacte pour les appuis dans le sens parallèle à la portée [mm] ;
- w_{ef} largeur de contact efficace tenant compte de la distribution de contraintes [mm] ;
- l_{ef} longueur de contact efficace tenant compte de la distribution de contraintes [mm] ;
- α_L angle de distribution de contrainte dans les lamelles longitudinales [°] ;
- α_T angle de distribution de contrainte dans les lamelles transversales [°] .

Pour modéliser la résistance en compression perpendiculaire au fil d'éléments CLT chargés de manière discrète et CLT supportés de manière continue ou discrète, le modèle de dispersion des contraintes de Van der Put, défini pour les éléments en bois linéaires et unidirectionnels, est adapté pour un transfert de charge bidimensionnel dans la structure orthogonale du CLT.

Le modèle présenté en Figure 46 est vérifié avec succès dans le rapport d'étude [26] et proposé en outre pour le dimensionnement du CLT en compression perpendiculaire au fil en utilisant deux angles de distribution des contraintes différents $\alpha_L = 45°$ et $\alpha_T = 15°$ pour la direction longitudinale et transversale, respectivement, comme déjà ancré dans l'EN 1995-2: 2004.

La formulation pour le $k_{c,90}$ rend obligatoire la prise en compte de la composition du panneau pour une conception économique des éléments CLT soumis à une compression perpendiculaire au fil. Dans l'ensemble, les résultats de cette étude sont considérés notable et digne d'intérêt pour le dimensionnement d'éléments CLT chargés de manière ponctuelle et linéique, et supportés de manière continue ou discrète (EN 1995-1-1 : 2008 et EN 1995-2 : 2004).

Note : la méthode présentée au §3.3.3 du e-Cahier 3802_P2 du CSTB qui est issue du projet de texte de révision de l'EN 1995-1-1 au moment de la rédaction de ce cahier, permet de calculer un facteur $k_{c,90}$ sur la base d'un angle de distribution de contrainte moyen de 35°, tandis que dans la méthode présentée ci-dessus, les angles de distribution de contrainte sont distingués par type de plis.

On prend $k_{c,90} = 1$ lorsque la situation de compression perpendiculaire au fil du CLT n'est pas argumentée.

2.3.8.3. Dimensionnement des appuis par membrure supérieure

2.3.8.3.1. Avec vis de renforcement perpendiculaires

Des détails de mise en œuvre des appuis sont présentés au paragraphe § 2.2.4 du dossier technique avec quelques exemples d'appuis par membrure supérieure.

Pour les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib ouvert ou fermé, il est possible de s'appuyer par la membrure CLT supérieure.

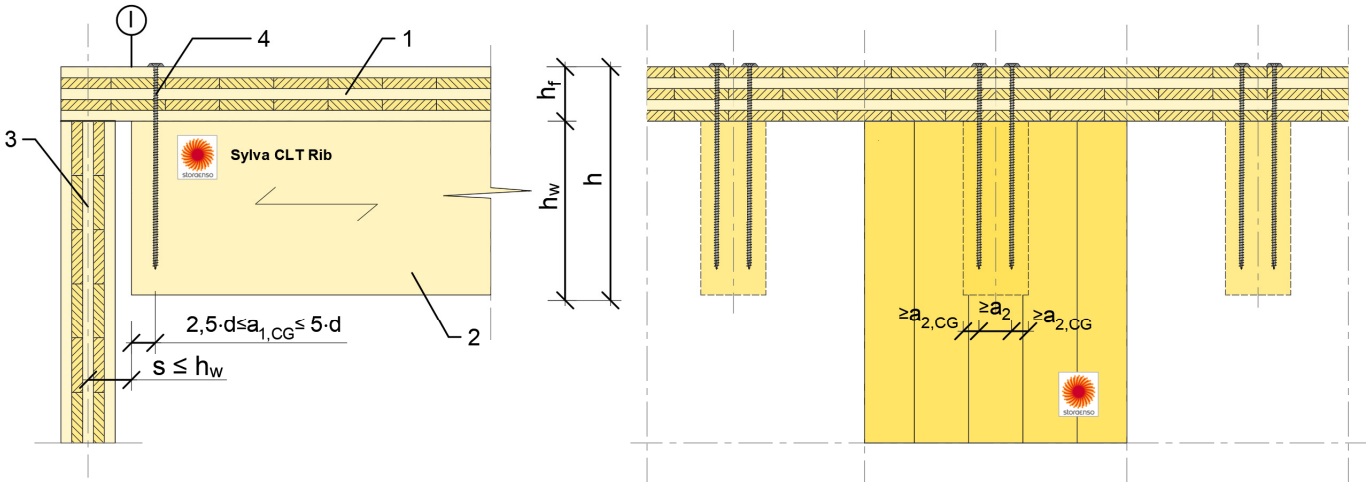


Figure 47 : Appui par la membrure CLT supérieure (1: Membrure CLT ; 2: Nervure GLT ; 3: Axe de l'appui ; 4: Renforcement)

Avec :

d	Diamètre de la vis de renfort [mm] ;
$a_{1,CG}$	Distance d'extrémité minimum entre le centre de gravité de la partie filetée de la vis et l'extrémité de la nervure selon l'ETE du fabricant de vis et la norme EN1995-1-1 [mm] ;
	Condition : $2.5 \cdot d \leq a_{1,CG} \leq 5 \cdot d$
$a_{2,CG}$	Distance de rive minimum entre le centre de gravité de la partie filetée de la vis et le bord de rive de la nervure selon l'ETE du fabricant de vis et la norme EN1995-1-1 [mm] ;
a_2	Espacement minimum entre vis de renfort perpendiculaire au fil selon l'ETE du fabricant de vis et la norme EN1995-1-1 [mm] ;
s	Distance entre l'axe de l'appui et l'extrémité de nervure [mm] ;
h_w	Hauteur de nervure [mm].

Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

Ce type d'appui se fait de manière continue sur toute la largeur de la membrure CLT (sur chaque nervure) ;

La distance maximum entre l'axe de l'appui et le bois de bout en extrémité de nervure est limitée à : $s \leq h_w$

Des vis de renforcement sont disposées entre la membrure et les nervures pour reprendre la réaction d'appui en traction. Les vis de renforcement sont à filetage total ou à double filetage. Seules les vis de renforcement sont considérées pour faire transiter les efforts ;

Dans la direction longitudinale de la nervure, seulement une rangée de vis est autorisée pour reprendre l'effort dans le cas de vis à filetage total ou à double filetage perpendiculaires à la membrure. Plusieurs rangées sont possibles dans la direction transversale (en fonction des distances $a_{2,CG}$ et a_2) ;

La pointe d'extrémité de la vis perpendiculaire doit être positionnée au plus près de la fibre extrême inférieure de la nervure GLT sans la dépasser (on gardera une distance de 10mm) ;

L'espacement entre vis de renforcement, distance d'extrémité et distance de rive doivent être respectées selon la norme NF EN1995-1-1 et l'ETE particulier du connecteur de renforcement.

Principes généraux préalables :

Pour les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib en appuis sur la membrure supérieure, certains points spécifiques doivent être pris en compte dans le dimensionnement.

L'analyse et étude aux éléments finis a permis de déduire qu'en fonction de certains paramètres, une partie considérable des forces verticales par nervure est reprise par l'élément CLT. On considère que cette partie de la charge verticale dépend principalement des paramètres suivants :

- Rapport entre la rigidité en flexion de l'élément CLT et de la nervure GLT ;
- Rapport entre la portée et la distance d'entraxe des nervures ;
- Distance entre le bois de bout d'extrémité de la nervure (là où la nervure s'arrête) et l'axe de l'appui.

Pour permettre un dimensionnement adapté, une approche en deux étapes doit être suivie :

Une partie de l'effort tranchant total $(V_{tot,d})$ par nervure est transmise directement par l'élément CLT vers les appuis.

Dans un premier temps, la partie de la force verticale totale supportée par la nervure sans l'arrêt/le retrait de la nervure $(V_{red,0,d})$ doit être déterminée.

Pour le calcul, le rapport de rigidité en flexion entre le panneau CLT et la nervure GLT $(E \cdot I)_{rib}/(E \cdot I)_{CLT,y}$ et le rapport entre la portée et la distance d'entraxe par nervure (l/b) sont considérés.

Dans la deuxième étape, outre les rapports de rigidité des composants, l'influence de la distance entre l'axe de l'appui et l'extrémité de nervure (s) sur la force verticale dans la nervure $(V_{red,0,d})$ est prise en considération par un facteur de réduction k_s pour la détermination de la force réelle à la distance où la nervure s'arrête (section I sur la Figure 47).

Vérifications à mener :

Compression perpendiculaire au fil de la membrure CLT au niveau de l'appui qui s'effectue conformément au § 3.3.3 du e-Cahier du CSTB 3802- P2 et du § 2.3.8 du présent dossier technique ;

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \qquad \text{Eq. 134}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{tot,d}\,[N]}{b \cdot l_{ef}} \qquad \text{Eq. 135}$$

Avec :

$V_{tot,d}$ Valeur de calcul de la réaction d'appui totale par nervure, provenant du caisson et des charges qui y sont appliquées [N] ;

l_{ef} Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec le § 2.3.8.2 du dossier technique [mm];

$l_{ef} = d_{supp} + l_{\alpha}$

l_{α} Augmentation de longueur de contact en fonction de la composition du panneau CLT (cf. § 2.3.8.2) [mm] ;

d_{supp} Largeur d'appui en contact avec la membrure CLT [mm];

b Distance d'entraxe entre nervure (largeur de CLT considérée pour la vérification (interpolation à 1 m est aussi possible)) [mm].

Vérification en flexion dans la membrure CLT à l'appui conformément au § 2.6.2.1 du Cahier du CSTB 3802-P2 et au § 2.7.6.3 du DTA CLT Stora Enso (la vérification s'effectue où la nervure s'arrête au de niveau de la coupe I en Figure 47) ;

Vérification du cisaillement roulant dans la membrure CLT à l'appui conformément au § 2.6.2.2 du Cahier du CSTB 3802-P2 et au § 2.7.6.4 du DTA CLT Stora Enso ;

Vérification des vis de renforcement qui effectue le transfert des efforts entre membrure CLT et nervures GLT (force de traction verticale perpendiculaire au fil du bois). La résistance à l'arrachement dans la partie du CLT peut être augmenté en ajoutant des rondelles, platine métallique, etc., en fonction du besoin.

Force de traction perpendiculaire à calculer :

$$F_{t,90,d} = V_{red,0,d} \cdot k_s = V_{red,0,d} \cdot \frac{1}{1.0 + \frac{0.3}{\sqrt{\Upsilon_{rib}}} - 0.35 \cdot \sqrt{\frac{s}{h}}} \qquad \text{Eq. 136}$$

Équation valide pour: $1.5 \leq \Upsilon_{rib} \leq 150$ et $0.10 \leq \frac{s}{h} \leq 1.0$

Avec:

$F_{t,90,d}$ Valeur de calcul de la force de traction reprise par le renforcement [N] ;

$V_{red,0,d}$ Valeur de calcul de l'effort tranchant par nervure sans considérer le retrait de la nervure [N] ;

k_s Facteur de réduction considérant la distance entre l'axe de l'appui et l'extrémité de nervure [-] ;

Où:

$$k_s = \frac{1}{1.0 + \frac{0.3}{\sqrt{\Upsilon_{rib}}} - 0.35 \cdot \sqrt{\frac{s}{h}}} \qquad \text{Eq. 137}$$

Avec:

s Distance entre l'axe de l'appui et l'extrémité de nervure [mm] ;

h Hauteur totale du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib [mm] ;

Υ_{rib} Rapport entre la rigidité en flexion de la nervure et celle des membrures CLT par rapport à l'axe Y [-] ;

$$\Upsilon_{rib} = \frac{(E \cdot I)_{rib}}{(E \cdot I)_{CLT,y}}$$

Avec:

$$(E \cdot I)_{rib} = E_{0,w} \cdot \frac{b_w \cdot {h_w}^3}{12}$$

$$(E \cdot I)_{CLT,y} = \sum_{i=0}^{n} E_{0,i} \cdot \frac{b \cdot {h_i}^3}{12} + \sum_{i=0}^{n} E_{0,i} \cdot b \cdot h_i \cdot {z_i}^2$$

n Nombre de plis composant le panneau CLT [-] ;

z_i Distance du centre de gravité partiel d'un pli "i" au centre de gravité de la section globale du CLT [mm].

Valeur de calcul de l'effort tranchant par nervure sans considérer le retrait de la nervure :

$$V_{red,0,d} = V_{tot,d} \cdot \left(1.20 - 0.05 \cdot \sqrt{\frac{l}{b}} - \frac{0.50}{\sqrt{\Upsilon_{rib}}}\right) \qquad \text{Eq. 138}$$

Équation valide pour: $5 \leq \frac{l}{b} \leq 32$ et $1.5 \leq \gamma_{rib} \leq 150$

Avec:

$V_{tot,d}$ Valeur de calcul de l'effort tranchant total à l'appui (réaction d'appui) par nervure [N] ;
e. g. pour chargement uniformément distribué :
$V_{tot,d} = q_d \cdot \frac{b \cdot l}{2}$

q_d Valeur de calcul du chargement uniformément distribué [N/mm²] ;

l Portée (entre axe d'appuis) du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib [mm] ;

b Entraxe des nervures [mm].

Note : La vérification des règles de calculs présentées ci-dessus a été effectuée au moyen d'une étude paramétrique aux éléments finis.

Dans le cas où, la vis de renforcement entièrement filetée n'atteint pas la fibre extrême inférieure de la section de la nervure, une vérification de contrainte de fendage est envisageable, en accord avec EN 1995-1-1, chapitre 6.5 (dimensionnement des entailles). L'espace entre la pointe de vis de renfort et l'extrémité de la nervure constitue une entaille virtuelle : h_{ef} étant la longueur de pénétration de la vis dans la nervure, et la distance x la distance d'extrémité entre le centre de gravité de la partie filetée de la vis et l'extrémité de la nervure $a_{1,CG}$.

Des exemples de Sylva™ CLT Rib avec appuis par membrure supérieure sont présentés en annexe §2.11.

2.3.9. Réservations dans les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib

2.3.9.1. Perçages/ouvertures dans les nervures en en lamellé-collé du caisson nervuré

Les trous et les ouvertures dans les nervures en lamellé-collé des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont réalisés uniquement en usine et au nombre de 3 maximum par nervure.

Il n'est pas permis de réaliser sur chantier des réservations ou percements non prévus dans les nervures en conception.

Les trous sont des ouvertures avec une dimension d≥ h/10 avec h étant la hauteur de la nervure où d ≥ 80mm. Les trous dont le diamètre ou la longueur diagonale d < 80 mm peuvent être considérés comme une section résiduelle s'ils sont situés à proximité de l'axe neutre et les vérifications suivantes ne sont pas obligatoires.

Dans le cas d'une poutre sollicitée en flexion dont le sens longitudinal coïncide avec le sens du fil, le flux des contraintes de cisaillement et des contraintes normales parallèles au fil est perturbé ; elles sont remplacées par des contraintes de cisaillement et des contraintes de traction perpendiculaires au fil concentrées à proximité du trou. Ces contraintes concentrées apparaissent également dans le cas des éléments soumis à une compression ou traction axiale. L'amplitude et la répartition des contraintes défavorables dépendent de nombreux paramètres, tels que le type de charge, la géométrie de l'ouverture, sa taille et son emplacement par rapport à la hauteur de la poutre.

L'état de contrainte local se caractérise par des contraintes de cisaillement et des contraintes de traction perpendiculaires au fil concentrées à proximité du trou. La Figure 48 illustre sous forme de schémas la répartition des contraintes de traction perpendiculaires au fil dans le cas d'une poutre comportant un trou circulaire dans différentes situations de charges.

Le mode de rupture associé (apparition d'une fissure à la périphérie du trou et propagation dans le sens de la poutre) est généralement de type très fragile.

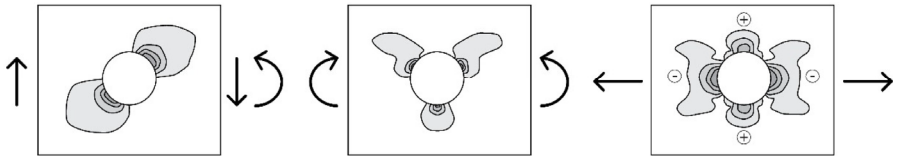


Figure 48: Représentations schématiques de la répartition des contraintes de traction perpendiculaires au fil ; ouverture située dans une zone dominée par la force de cisaillement (à gauche), flexion pure (au milieu) et élément chargé axialement (à droite).

Si la réalisation de trous est inévitable, il convient de suivre certaines recommandations concernant la forme et l'emplacement des trous. Les trous, en particulier ceux situés dans une zone dominée par un moment de flexion, doivent de préférence être pratiqués au niveau de l'axe neutre de la section. Les trous circulaires sont préférables aux trous rectangulaires au regard des concentrations de contraintes.

L'Annexe Nationale (annexe F) allemande et Autrichienne de l'Eurocode 5 (DIN EN 1995-1-1/NA et ÖNORM B EN 1995-1-1) donne des équations de dimensionnement pour les poutres trouées non renforcées et renforcées. L'application des trous circulaires et rectangulaires non renforcés est limitée aux classes de service 1 et 2.

Ce dossier technique ne traite que des trous non renforcés, mais il est possible de se référer à la norme EN 1995-1-1 dans le cas de trous renforcés. Pour le positionnement des trous et des ouvertures de toute taille, les conditions limites indiquées ci-dessous doivent être respectées.

Conditions géométriques générales :

Tableau 12: Règles relatives à la taille et à l'emplacement des trous pour les poutres comportant des trous circulaires ou rectangulaires selon la norme DIN EN 1995-1-1/NA et ÖNORM B 1995-1-1/NA Annex F [27]

Non renforcés		
Distances minimum	Extrémités	$l_v \geq h$
	Espacements entre trous (aux bords)	$l_z \geq \min\begin{pmatrix}1{,}5 \cdot h \\ 300mm\end{pmatrix}$
	Par rapport à l'appui	$l_A \geq 0.5 \cdot h$
	Bords de trous par rapport à la fibre extrême supérieure et inférieure de la nervure	Lorsque l'ouverture est placée à l'axe neutre : $h_{ro} \geq 0.425 \cdot h$ et $h_{ru} \geq 0.425 \cdot h$ Lorsque l'ouverture n'est pas placée à l'axe neutre (excentricité) : $h_{ro} \geq 0.35 \cdot h$ and $h_{ru} \geq 0.35 \cdot h$
Dimensions maximum	Trous rectangulaires	$h_d \leq 0.15 \cdot h$ $a \leq 2.5 \cdot h$
	Trous circulaires	$d \leq 0.15 \cdot h$

Trous circulaires :

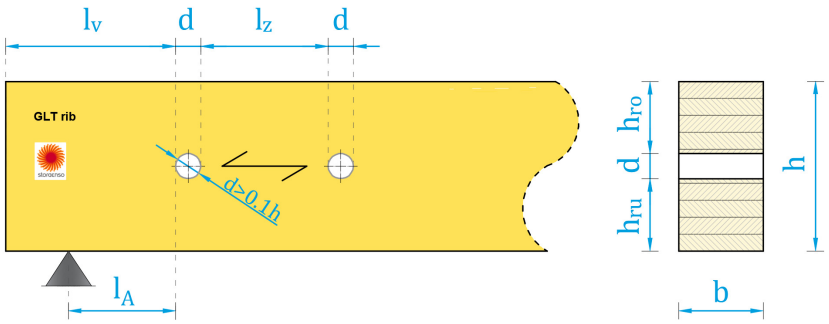


Figure 49: Notations géométriques pour la conception d'une nervure comportant des trous circulaires.

Trous rectangulaires : Un rayon d'angle d'au moins 15 mm doit être attribué à tous les angles de l'ouverture.

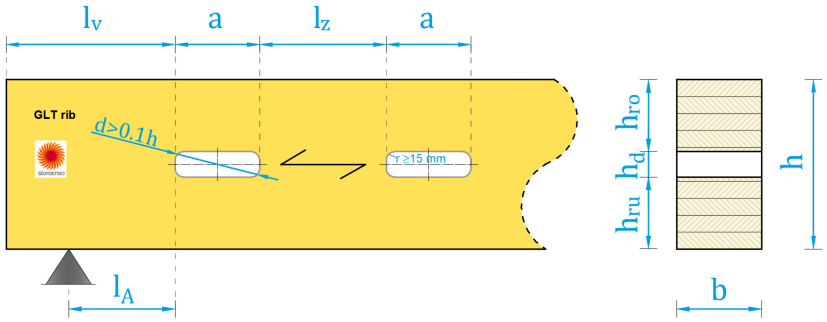


Figure 50: Notations géométriques pour la conception d'une nervure comportant des trous rectangulaires.

Avec :

h Hauteur de la nervure GLT [mm] ;

h_d Hauteur de l'ouverture [mm] ;

l_z Espacement entre les bords des trous dans la direction parallèle au fil [mm] ;

l_V Distance parallel to grain between the end of the beam and the closest hole edge [mm];

h_{ro} Distance du bord supérieur du trou par rapport à la fibre extrême supérieure de la nervure [mm] ;

h_{ru} Distance du bord inférieur du trou par rapport à la fibre extrême inférieure de la nervure [mm] ;

a Longueur de l'ouverture ; pour les ouvertures circulaires $a = h_d$.

2.3.9.2. Vérification de la contrainte de traction perpendiculaire au fil (fendage)

Le critère de dimensionnement est considéré comme une comparaison entre une contrainte de traction perpendiculaire au fil et la résistance correspondante, modifiée par un coefficient de hauteur de poutre empiriquement déterminé. Des contraintes de traction perpendiculaires au fil apparaissent des deux côtés du trou, à différents endroits selon le type de charge et la forme du trou.

En plus des étapes d'analyse présentées dans ce chapitre, la contrainte de flexion doit être vérifiée dans les limites de la section.

La contrainte de fendage (traction perpendiculaire aux fibres) et la contrainte de cisaillement doivent être analysées.

La figure 51 indique les plans de fissures susceptibles de se produire en cas de trous circulaires ou rectangulaires. On suppose par ailleurs que la contrainte de traction perpendiculaire au fil est répartie de façon triangulaire le long de ces plans. L'amplitude de la contrainte de traction perpendiculaire au fil est déterminée par la résultante de sa force $F_{t,90}$ qui est quant à elle déterminée en fonction des contributions de la force de cisaillement $F_{t,V}$ et du moment de flexion $F_{t,M}$.

On suppose que la contribution $F_{t,V}$ de la force de cisaillement V équivaut à l'intégrale des forces de cisaillement de la théorie des poutres du milieu de l'axe au potentiel plan de fissure d'une poutre comportant un trou situé au centre, comme illustré dans la 51. La contribution $F_{t,M,d}$du moment de flexion M est empiriquement déterminée.

Pour les contraintes de traction perpendiculaires au fil, la condition suivante doit être remplie :

$$\sigma_{t,90d} = \frac{F_{t,90,d}}{0{,}5 \cdot l_{t,90} \cdot b_{ef} \cdot k_{t,90}} \leq f_{t,90,d} \qquad \text{Eq. 139}$$

Avec :

$$k_{t,90} = min\left\{\left(\frac{450}{h}\right)^{0,5}\right. \qquad \text{Eq. 140}$$

où :

$\sigma_{t,90d}$ Valeur de calcul de la contrainte de traction perpendiculaire au fil [N/mm²] ;

$F_{t,90,d}$ Valeur de calcul de la force de traction perpendiculaire au fil [N] ;

$l_{t,90}$ Longueur de distribution de contrainte [mm] ;
La longueur $l_{t,90}$ de la contrainte de traction perpendiculaire au fil, qui est supposée être répartie de façon triangulaire, est donnée par :

- Section rectangulaire: $l_{t,90} = 0{,}5 \cdot (h_d + h)$ Eq. 141

- Section circulaire: $l_{t,90} = 0{,}35 \cdot h_d + 0{,}5 \cdot h$ Eq. 142

b_{ef} Largeur efficace de la nervure en lamellé-collé (Calculé conformément à la norme EN 1995-1-1, équation (6.13a) k_{cr} = 0,67) [mm] ;

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \qquad \text{Eq. 143}$$

$f_{t,90,d}$ Valeur de calcul de la résistance en traction perpendiculaire au fil [N/mm²] ;

h Hauteur de la nervure [mm].

Avec :

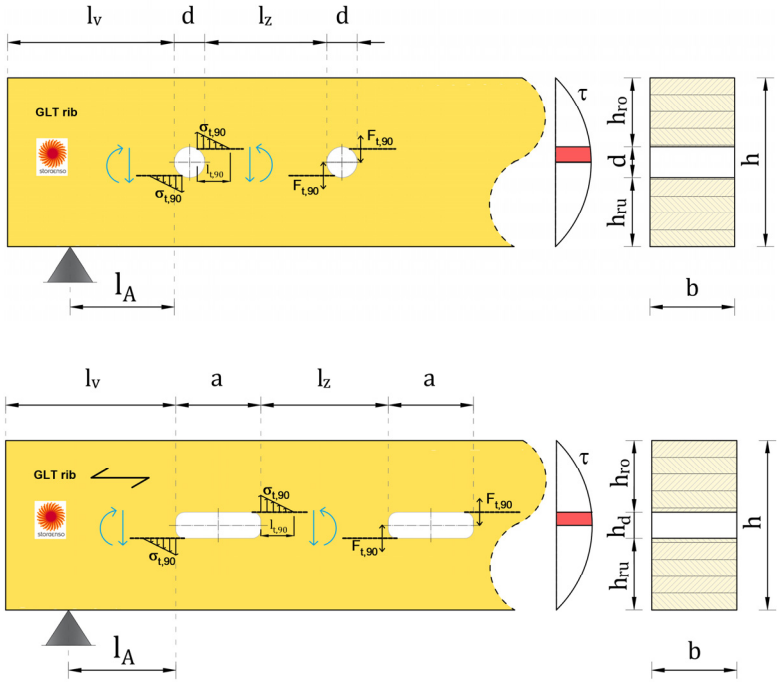


Figure 51 : Emplacement des plans de fissures critiques en cas de trous rectangulaires ou circulaires ; Longueur de distribution de contrainte et force de traction perpendiculaire.

La force de traction perpendiculaire au fil est donc :

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d} \qquad \text{Eq. 144}$$

Avec :

Pour section rectangulaire :

$$F_{t,V,d} = \Omega_{shape} \cdot \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \left(\frac{h_d}{h}\right)^2\right] \qquad \text{Eq. 145}$$

Pour section circulaire :

$$F_{t,V,d} = \Omega_{shape} \cdot \frac{V_d \cdot 0{,}7 \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \left(\frac{h_d}{h}\right)^2\right] \quad \text{Eq. 146}$$

et

$$F_{t,M,d} = 0{,}008 \cdot \frac{M_d}{h_r} \quad \text{Eq. 147}$$

Où :

$F_{t,V,d}$ Valeur de calcul de la part de la force de traction perpendiculaire au fil, résultant de la force de cisaillement [N] ;

$F_{t,M,d}$ Valeur de calcul de la part de la force de traction perpendiculaire au fil, résultant du moment de flexion [N] ;

M_d Valeur de calcul du moment de flexion à la limite (au bord) de l'ouverture [N.mm] ;

V_d Valeur de calcul de la force de cisaillement à la limite (au bord) de l'ouverture [N] ;

Ω_{shape}

Section en T (Caisson ouvert/inversé)	Section en I (Caisson fermé)
1,30	1,50

h Hauteur de la nervure [mm] ;

h_r Hauteur de calcul au-dessus du plan de fissure critique [mm] ;

Trous rectangulaires

$$h_r = min\begin{cases} h_{ro} \\ h_{ru} \end{cases} \quad \text{Eq. 148}$$

Trous circulaires

$$h_r = min\begin{cases} h_{ro} + 0{,}15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0{,}15 \cdot h_d \end{cases} \quad \text{Eq. 149}$$

h_d Hauteur de l'ouverture [mm].

2.3.9.3. Vérification de la contrainte de cisaillement

Outre les contraintes de traction perpendiculaires au fil, qui sont généralement les plus pertinentes pour le calcul, des concentrations de contraintes de cisaillement apparaissent également à proximité des trous, et notamment des trous rectangulaires dans les coins en diagonale.

En première approximation, ces contraintes peuvent être déterminées en appliquant l'équation de la théorie des poutres pour la section nette, mais il est évident qu'en raison de la redistribution des contraintes autour de l'ouverture, les concentrations de contraintes doivent être considérées.

En les prenant en compte dans le dimensionnement, la contrainte de cisaillement maximale au contour de l'ouverture est multipliée par le coefficient de concentration des contraintes de cisaillement k_τ applicable pour l'ouverture circulaire et rectangulaire.

La distribution de la contrainte de cisaillement dans la section de la nervure au niveau du vide doit être analysée de la manière suivante :

- Scinder la section en une section en T supérieure (au-dessus de l'ouverture) et une section rectangulaire inférieure en dessous de l'ouverture ;
- Calculer la rigidité en flexion EI de la section en T supérieure et de la section rectangulaire inférieure ;
- Répartir le cisaillement en fonction de la rigidité à la partie supérieure et inférieure de la section ;
- Calculer la distribution du cisaillement sur les deux sections partielles (au-dessus et en dessous de l'ouverture).

$$\tau_d = k_\tau \cdot \frac{V_d \cdot \sum_i (E_i \cdot A_i \cdot e_i)}{(EI)_{ef} \cdot b} \leq f_{v,d} \quad \text{Eq. 150}$$

Avec:

$$k_\tau = 1{,}85 \cdot \left(1 + \frac{a}{h}\right) \cdot \left(\frac{h_d}{h}\right)^{0{,}2} \quad \text{Eq. 151}$$

Avec:

τ_d Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement soit de la section supérieure ou soit de la section inférieure par rapport à l'ouverture) [N/mm²] ;

k_τ Coefficient de concentration des contraintes de cisaillement (pour trou rectangulaire/circulaire) [-];

V_d Valeur de calcul de la force de cisaillement à la limite (au bord) de l'ouverture pour la section supérieure ou inférieure à celle-ci [N];

$(EI)_{ef}$ Rigidité efficace en flexion de la section résiduelle (supérieure et inférieure par rapport au trou) [N.mm²] ;

E_i Module d'élasticité de la section partielle "i" [N/mm²] ;

A_i Surface de la section partielle "i" [mm²] ;

e_i Excentricité (distance entre le centre de gravité (C.o.G) de la section supérieure/inférieure par rapport au trou et au C.o.G de la section partielle "i") [mm] ;

$\sum_i (A_i \cdot e_i) = S_y$ Moment statique par rapport à l'axe Y à la limite (au bord) de l'ouverture [mm³] ;

b Largeur efficace de la nervure en lamellé-collé (Calculé conformément à la norme EN 1995-1-1, équation (6.13a); k_{cr} = 0,67) [mm] ;

h Hauteur de la nervure [mm] ;

h_d Hauteur de l'ouverture [mm] ;

a Longueur de l'ouverture ; pour les ouvertures circulaires $a = h_d$ [mm] ;

$f_{v,d}$ Valeur de calcul de la résistance au cisaillement de la nervure [N/mm²].

2.3.9.4. Contraintes longitudinales (normales parallèle au fil) induite par le moment de flexion

Il convient par ailleurs de vérifier la résistance relative à la contrainte normale parallèle au fil σ_0 induite par le moment de flexion M (et, éventuellement, par l'effort normal N) de la section résiduelle. Dans le cas des trous rectangulaires, il convient de prendre en compte la contrainte de flexion additionnelle dans les parties supérieure et inférieure de la section résiduelle par rapport aux forces de cisaillement V_o et V_u et au bras de levier a/2 (Figure 16).

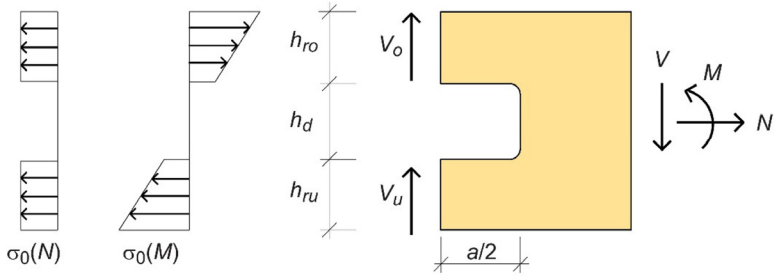


Figure 52: Contrainte normale parallèle au fil pour une poutre trouée.

Pour la contrainte de flexion, les conditions suivantes doivent être remplies :

$$\frac{\frac{M_d}{W_n} + \frac{M_{o,d}}{W_o}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 152}$$

et

$$\frac{\frac{M_d}{W_n} + \frac{M_{u,d}}{W_u}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 153}$$

avec :

$$M_{o,d} = \frac{A_o}{A_u + A_o} \cdot V_d \cdot \frac{a}{2} \quad \text{Eq. 154}$$

$$M_{u,d} = \frac{A_u}{A_u + A_o} \cdot V_d \cdot \frac{a}{2} \quad \text{Eq. 155}$$

$$A_o = b \cdot h_{ro} \quad \text{Eq. 156}$$

$$A_u = b \cdot h_{ru} \quad \text{Eq. 157}$$

$$W_o = \frac{b \cdot {h_{ro}}^2}{6} \quad \text{Eq. 158}$$

$$W_u = \frac{b \cdot {h_{ru}}^2}{6} \quad \text{Eq. 159}$$

où :

M_d Valeur de calcul d'un moment ;

W_n Moment de résistance selon l'axe fort de la section nette de la nervure au niveau du vide [mm³] ;

V_d Valeur de calcul de l'effort de cisaillement au bord de l'ouverture [N] ;

$f_{m,d}$ Valeur de calcul de la résistance en flexion de la nervure [N/mm²] ;

h_{ro} Voir sur figures ci-dessus ;

h_{ru} Voir sur figures ci-dessus.

Pour les trous circulaires, l'analyse de la contrainte de flexion utilisant la section nette du caisson nervuré (en tenant compte du vide), en appliquant la théorie des poutres, sera suffisante.

Note : Les côtés du trou doivent recevoir un traitement de surface pour réduire les variations de la teneur en humidité et, par conséquent, le risque de fendage. Les réseaux de fluides qui passent au travers des trous doivent être isolés.

2.3.9.5. Perçages /ouvertures (trémies) dans les membrures CLT

Le positionnement des ouvertures doit être étudié en fonction du calepinage par zone.

Les trémies dans les panneaux CLT peuvent constituer un point faible dans leur comportement mécanique. Il faut donc effectuer un dimensionnement de structure en tenant compte de ces ouvertures. Les perçages et les ouvertures dans un panneau CLT doivent être pris en compte dans l'analyse structurale, en utilisant la section nette disponible pour la vérification des contraintes.

A moins qu'une analyse plus détaillée ne soit réalisée, le dimensionnement des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib avec perçages sont calculés en excluant la bande de membrure impactée par l'ouverture sur toute la longueur de l'élément de calcul considéré.

Dans le cas d'une analyse détaillée, l'étude doit être réalisé par un bureau d'étude avec des vérifications aux états limites ultimes (E.L.U.) et aux états limites de service (E.L.S.) et est décrit dans le Document Technique d'Application en cours de validité du procédé Stora Enso CLT, § 2.7.6.12 « Vérification des planchers avec trémies ».

Dans la mesure du possible, les ouvertures dans la membrure CLT ne doivent pas être plus larges que la distance entre les nervures et ne doivent pas être situés au-dessus d'une nervure.

Il est possible de réaliser des perçages circulaires sans chevêtre dans la membrure inférieure et supérieure sans vérification supplémentaire à condition de respecter la condition suivante :

- Le perçage doit se faire à égale distance des deux nervures.

Il est possible d'intégrer des ouvertures circulaires plus importantes dans la membrure inférieure et supérieure. Dans ce cas, la réalisation de chevêtres est envisageable dans les caissons, et est effectuée en usine. Ils doivent être calculés, spécifiés et réalisés sur les plans de fabrication (aucun usinage sur chantier).

En cas d'obligation, si des ouvertures encore plus importantes pouvant aller jusqu'à interrompre une ou plusieurs nervures sont intégrées, des chevêtres plus longs sont insérés lors de la fabrication des caissons pour réaliser des trémies (escalier, passages de gaines électriques, etc…). Le report des charges se fait via un chevêtre qui transmet ces charges sur les nervures d'enchevêtrure adjacentes. Ces charges rapportées doivent être limitées après combinaison à 500 daN. Pour des charges combinées supérieures à 500 daN, des vis de frettage renforçant le joint de colle entre le CLT et la nervure sont ajoutées en usine après justification du Bureau d'Etudes structures pour reprendre cette surcharge ponctuelle.

Ces chevêtres peuvent être fixés par vissage, par équerre, par sabot, par assemblage mécanosoudés etc. Une étude particulière permet de vérifier les sections des nervures d'enchevêtrure.

Note : Il n'est pas permis de réaliser sur chantier des réservations ou percements non prévus en conception.

Si pour différentes raisons, des percements ou réservations sont réalisés sur chantier, les critères suivants sont strictement à respecter :

Les réservations ne doivent en aucun cas excéder la dimension maximale de 120 mm ; l'espacement entre les bords de deux réservations est de 1,50 m minimum.

2.3.10.Assemblage d'un caisson nervuré à une structure adjacente

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib entre eux ou des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib à d'autres éléments de structure en matériaux bois doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592 ou faire l'objet d'une Evaluation Technique Européenne. Les liaisons entre caissons lorsqu'elles sont réalisées à l'aide de languettes bois, doivent être réalisées avec des éléments permettant la reprise des efforts de traction longitudinaux et transversaux (LVL, contreplaqué, panneau 3 plis), à l'exclusion du bois massif.

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent faire l'objet d'une Evaluation Technique Européenne.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés au regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et du paragraphe 2.3.10 du Dossier Technique.

Le cisaillement entre panneaux adjacents sous effort tranchant doit être justifié.

Sauf justification particulière, les organes d'assemblages entre panneaux dans leur plan (couturage) doivent être implantés avec un entraxe maximum de 30 cm.

Le dimensionnement des assemblages devra tenir compte des efforts additionnels dus à l'excentrement des dispositifs de fixation par rapport au centre de gravité de la section du plancher.

Les organes de fixation traversant des plis croisés doivent faire l'objet d'une Evaluation Technique Européenne visant la fixation dans le bois lamellé croisé (CLT).

Les autres connecteurs mécano-soudés doivent être conforment aux dispositions des NF DTU 31.1, NF DTU 31.2 et sont dimensionnées selon la NF EN 1993 et réalisées selon la NF EN 1090-2.

Les organes de fixation métalliques de type tige utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage font l'objet :

- D'un marquage CE selon la NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- D'un ATE ou d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement.

Pour les catégories d'usage C4, C5, D1, D2, E1 :

- La capacité de l'assemblage entre panneaux adjacents vis-à-vis de la charge concentrée de la catégorie d'usage visée devra être justifiée ;
- La distance entre les organes d'assemblage doit être de 30cm maximum ;
- Le pianotage entre caissons Sylva™ CLT Rib est limité à la déformation acceptée par les éléments d'équipement supportés ;
- Lorsque la charge concentrée correspond à une charge long terme au sens de la norme NF EN 1995-1-1/NA, il y a lieu de considérer la concomitance de cette charge avec les efforts de contreventement.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, ainsi que le FD P18-717.

2.3.10.1. Rives des membrures

L'assemblage des caissons nervurés adjacents se fait au niveau des rives. Celles-ci peuvent comporter des nervures déportées ou non :

Les nervures de rives non déportées sont généralement dimensionnées avec la moitié de la largeur des nervures intérieures, de sorte que les doubles nervures au niveau des joints longitudinaux conservent la même géométrie que les nervures intérieures.

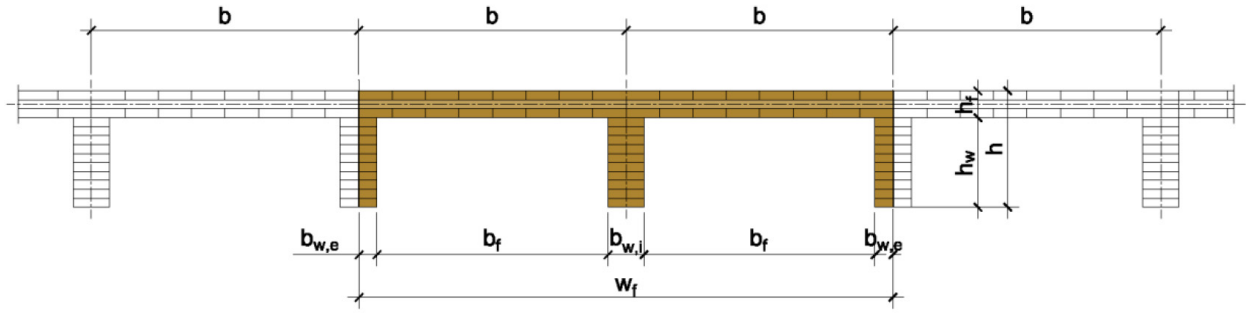


Figure 53 : Assemblage de caisson nervuré avec nervures de rives alignées (non déportées).

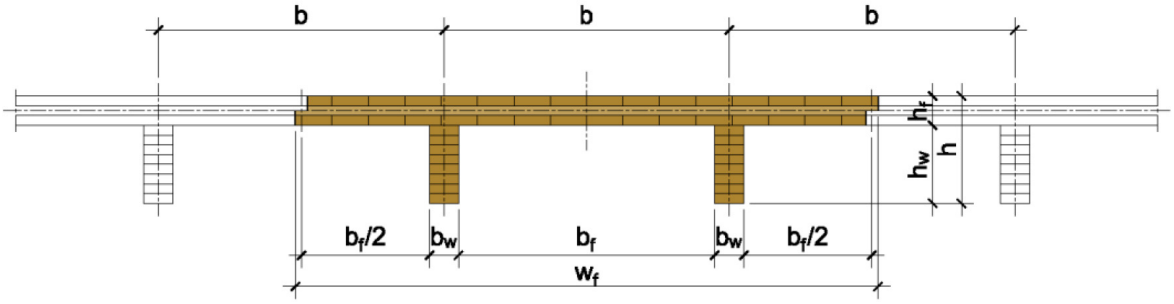


Figure 54 : Assemblage de caisson nervuré avec nervures de rives déportées.

2.3.10.2. Joints longitudinaux des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des charges ponctuelles.

De manière générale, la fixation des caissons nervurés Sylva™CLT Rib entre eux dans un même plan doit permettre d'assurer:

- L'équilibre statique de la structure ;
- La transmission des efforts de diaphragme et de contreventement entre caissons nervurés adjacents ;
- La limitation des déformations différentielles entre caissons nervurés adjacents (pianotage). Le pianotage entre caissons nervurés est limité à la déformation acceptée par les éléments d'équipement supportés.

  En fonction des cas (cas de nervures déportée en rive ou non) le pianotage est repris par les dispositifs de couturages (il s'agit des mêmes dispositifs utilisés pour les planchers en CLT simple).

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent être assemblés dans la direction longitudinale permettant de reprendre le cisaillement différentiel par :

(a) Assemblage à mi-bois au niveau des membrures et vissage perpendiculaire (avec nervures déportées) indiqué au § 2.3.10.2.1 ;

(b) Vissage diagonal liaisonnant les membrures (avec ou sans nervures déportées) indiquée au § 2.3.10.2.2 ;

(c) Languette de couturage en LVL au niveau des membrures et vissage perpendiculaire (avec ou sans nervures déportées) indiquée au § 2.3.10.2.3.

Les solutions d'assemblage suivantes ne sont pas exhaustives, d'autres sont possibles si elles respectent les conditions en zone sismique et les espacements et distances minimales données par le fabricant de vis.

Il est nécessaire d'assurer une continuité du plan du diaphragme et d'éviter si possible le transfert des efforts de cisaillement d'un panneau à l'autre par les nervures.

Le type de connexion doit être compatible avec les contraintes de production (type de caisson). Le dimensionnement des vis doit être conforme à l'ETE applicable.

L'analyse et la vérification du diaphragme au niveau des efforts internes et de la continuité des efforts horizontaux (chaînage) sont présentés dans le § 5.2.1 du Cahier du CSTB 3802_P2.

2.3.10.2.1. Assemblage à mi-bois

Ce type d'assemblage est réalisé au moyen d'un usinage longitudinal à mi-bois préalablement usiné sur une face des panneaux CLT en opposition avec le panneau adjacent. La fixation est réalisée par vissage direct des deux membrures CLT avec les vis perpendiculaires au niveau du joint respectant les espacements et distances minimales données par le fabricant de vis et doivent être calculées pour reprendre les efforts de cisaillement induits par le contreventement du bâtiment et des efforts de traction transversale liés au pianotage de deux caissons nervurés adjacents (dans le plan du CLT et/ou hors du plan du CLT).

Ce type d'assemblage peut être utilisé pour tous les types de caissons nervurés :

- Pour les caissons ouverts, le mi-bois est réalisé au niveau de la membrure CLT supérieure ;
- Pour les caissons inversés, le mi-bois est réalisé au niveau de la membrure CLT inférieure ;
- Pour les caissons fermés, le mi-bois est réalisé au niveau de la membrure CLT supérieure (par défaut) et de la membrure CLT inférieure.

Il est possible de réaliser cet assemblage avec les nervures de rives déportées seulement.

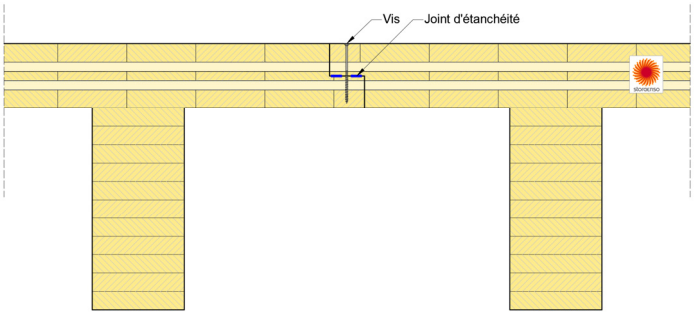


Figure 55 : Assemblage à mi-bois et vissage perpendiculaire - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées

2.3.10.2.2. Assemblage par vissage diagonal

La fixation doit être réalisée par vissage direct des deux membrures CLT bord à bord et doit être effectué avec des vis à filetage total ou double filetage et tête cylindrique. L'assemblage croisé vissé doit être réalisé en diagonale à 45°, avec les vis de chaque côté du joint respectant les espacements et distances minimales données par le fabricant de vis et doivent être calculées pour reprendre les efforts de cisaillement induits par le contreventement du bâtiment et des efforts de traction liés au pianotage de deux caissons nervurés adjacents (dans le plan du CLT et/ou hors du plan du CLT). Cet assemblage peut être réalisé dans le cas de nervures de rives déportées ou non.

Ce type d'assemblage peut être utilisé pour tous les types de caissons nervurés :

- Pour les caissons ouverts, le vissage diagonal est réalisé au niveau de la membrure CLT supérieure ;
- Pour les caissons inversés, le vissage diagonal est réalisé au niveau de la membrure CLT inférieure ;
- Pour les caissons fermés, le vissage diagonal est réalisé au niveau de la membrure CLT supérieure (par défaut) et/ou de la membrure CLT inférieure.

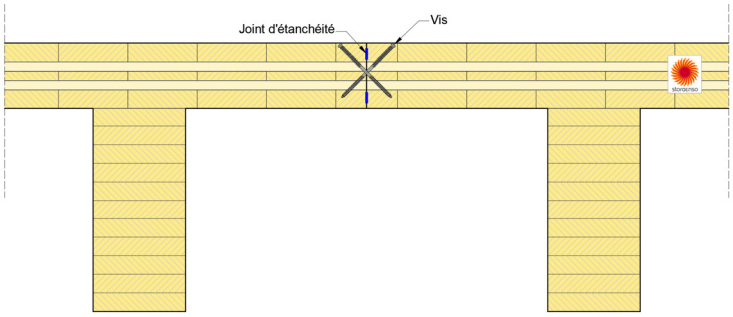


Figure 56: Assemblage par vissage diagonal - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées

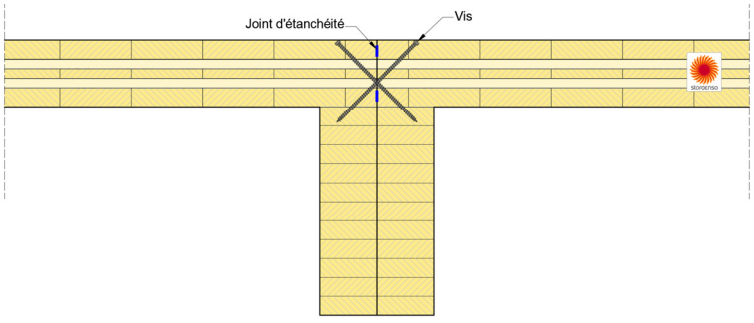


Figure 57 : Assemblage par vissage diagonal - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives alignées

Les vis à filetage total ne peuvent pas serrer les deux éléments ensemble fermement parce que la partie filetée fonctionne dans les deux pièces. Des vis à filetage partiel sont nécessaires en premier lieu pour verrouiller l'assemblage de l'élément en place et éviter les écarts de niveau d'altimétrie des panneaux. Donc, non seulement pour un caisson adjacent, mais aussi pour un assemblage sur poutre, par exemple. Les vis à filetage partiel seront utilisées de la même manière que les vis structurelles, mais la quantité doit être fonction des besoins de « verrouillage ». Un clamot de charpente à cliquet articulé est aussi utilisé lors du montage et peut assurer cette fonction de serrage si besoin.

Dans le cas de caissons nervurés avec nervures de rives alignées (non déportées), il est envisageable d'assembler directement les nervures de bord entres elles au niveau des joints longitudinaux, à condition que la fonction de diaphragme soit assurée uniquement par la membrure. Cf §2.11.3 en annexe du dossier technique pour quelques exemples.

2.3.10.2.3. Assemblage par languette en simple cisaillement

Ce type d'assemblage est réalisé au moyen d'une languette dans une feuillure usinée sur une ou deux faces (dans le cas de deux languettes) des panneaux CLT. L'assemblage vissé doit être réalisé avec les vis de chaque côté du joint respectant les espacements et distances minimales données par le fabricant de vis et doivent être calculées pour reprendre les efforts de cisaillement induits par le contreventement du bâtiment et des efforts de traction transversale liés au pianotage de deux caissons nervurés adjacents (dans le plan du CLT et/ou hors du plan du CLT).

Ce type d'assemblage peut être utilisé pour tous les types de caissons nervurés :

- Pour les caissons ouverts, la languette est fixée au niveau de la membrure CLT supérieure ;
- Pour les caissons inversés, la languette est fixée au niveau de la membrure CLT inférieure ;
- Pour les caissons fermés, la languette est fixée au niveau de la membrure CLT supérieure (par défaut) et/ou de la membrure CLT inférieure.

Il est possible de réaliser cet assemblage avec les nervures de rives déportées ou non.

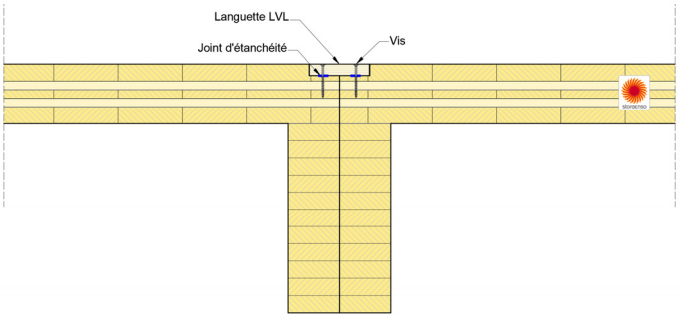


Figure 58 : Assemblage par une languette - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives alignées

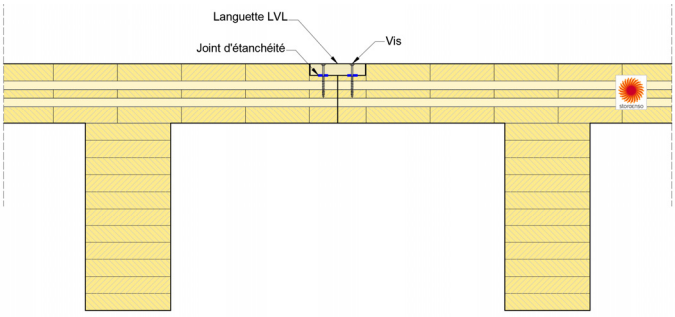


Figure 59 : Assemblage par une languette - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées

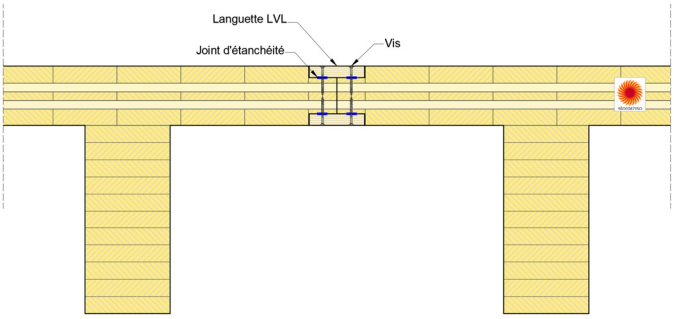


Figure 60 : Assemblage par deux languettes - Caisson nervuré ouvert avec nervures de rives déportées

Stora Enso fournit également les languettes LVL. Il est possible d'utiliser des languettes avec d'autres matériaux (LVL, contreplaqué, panneau 3 plis), à l'exclusion du bois massif.

2.3.10.3. Vérification en configuration d'assemblage par couvre joint (languette) et nervures de rives déportées

Aucune recommandation ou règle n'est donnée dans la norme EN 1995-1-1 pour la détermination des charges verticales qui doivent être transférées à travers les joint longitudinaux de plancher en configuration comme présenté dans la figure ci-dessous. C'est pourquoi un jugement d'ingénieur est nécessaire. Etant donné que la rigidité du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib en direction transversale est largement plus faible que la rigidité en direction longitudinale $(E \cdot I)_x >> (E \cdot I)_y$ et que la rigidité en torsion est aussi faible ($<< (G \cdot I)_{xy}$), seule une portion de la charge verticale est reprise dans la direction transversale du caisson entre nervures. Néanmoins, les forces aux extrémités couplées des éléments adjacents doivent être prise en compte.

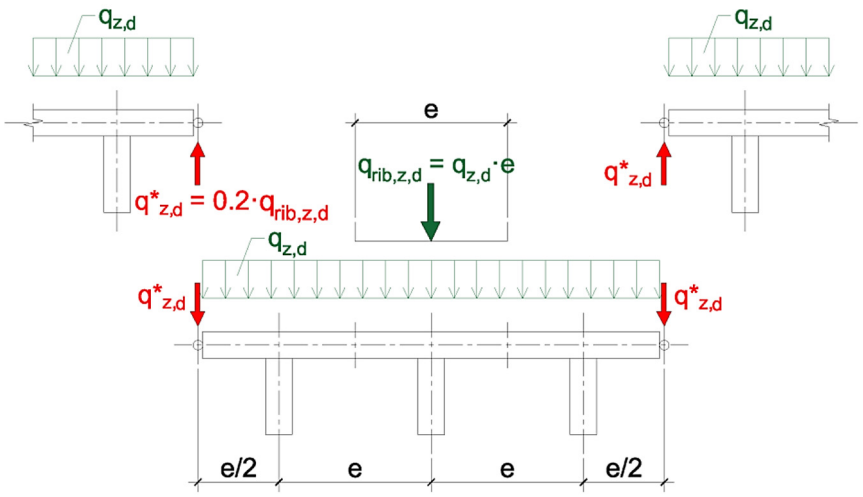


Figure 61: Force de calcul q*$_{z,d}$ verticale qui s'applique au niveau du joint longitudinal.

1) Si le caisson nervuré est soumis à des chargements continus uniformément répartis dominants, les joints longitudinaux et leurs organes d'assemblage respectifs sont dimensionnés (en plus des forces résultantes de l'analyse structurelle) sous un chargement linéique de 20% de l'aliquote (de la part de portion) du chargement linéique par nervure basée sur une longueur de 1m.

2) Les lignes de charges individuelles (par exemple des murs excentrés par rapport à la nervure) ou charge ponctuelle (par exemple due à un équipement) doivent être considérées en utilisant un modèle structurel approprié. Si des forces de soulèvement sont présentes, les forces correspondantes sont transférées par des renforcements situés au niveau de la ligne de contact entre la membrure supérieure et la nervure.

3) Les rives de chaque élément doivent être connectées aux murs et aux éléments de support inférieurs.

4) Lorsque le caisson nervuré est utilisé en application de diaphragme, les charges combinées verticales et horizontales doivent être considérées dans le dimensionnement de l'assemblage via un modèle approprié.

Voir un exemple et plus de détails en Annexe § 2.11.5 du dossier technique.

2.3.11.Dispositions relatives aux ouvrages en caissons nervurés Stora Enso

2.3.11.1. Dispositions relatives au contreventement global

2.3.11.1.1. Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontales - diaphragme de plancher en panneaux Stora Enso CLT

Les dispositions du e-Cahier 3802_P2 du CSTB §5.2.1 s'appliquent.

Les assemblages par collage ne sont pas considérés comme des zones dissipatives au sens de la NF EN 1998-1-1 (§8.2). Le transfert des efforts de cisaillement sismique aux extrémités des panneaux vers les murs latéraux sera donc effectué via des connecteurs et organes métallique.

Etant donné que le joint de colle entre la membrure et la nervure n'est pas testé sous charge cyclique, le transfert de cisaillement du diaphragme au mur se fera de manière à transiter les efforts de la membrure CLT aux murs latéraux directement.

Dans le cas où le caisson Sylva™ CLT Rib s'appuie directement sur les appuis (e.g. murs), le transfert se fait premièrement de la membrure au mur via des équerres métalliques ou à un système équivalent, puis à la nervure du dessous via une plaque métallique perforée par exemple.

Pour finir, le transfert de la nervure au mur inférieur sur lequel elle repose peut quant à lui est effectué soit via des plaques perforées, soit par des vis inclinées (voir en annexe § 2.11) qui reprendront le cisaillement. Dans cette configuration, le transfert des efforts ne peut être effectué en utilisant le joint de colle.

Dans le cas où le caisson Sylva™ CLT Rib s'arrête au niveau de la face de l'appui (e.g. murs) avec un support métallique (sabot, cornière, étrier en âme, etc…) ou lorsque le caisson est supporté par la membrure seule sur le mur (voir § 2.2.4.2), la reprise des efforts horizontaux se fait directement de la membrure au mur via des équerres de cisaillement ou par des vis comme pour une construction standard. (Voir plus de détails en annexe).

Seuls les connecteurs ayant montrés leur aptitude à la reprise des efforts sismiques (comportement adapté à la fatigue oligo-cyclique) et couverts par un ETA/ETE peuvent être utilisés.

2.3.11.1.2. Forces horizontales dans les joints longitudinaux entre caissons

Les dispositions du e-Cahier 3802_P2 du CSTB §5.2.1 s'appliquent.

En plus du transfert de forces verticales, les caissons nervurés doivent être en capacité de transférer les forces horizontales au niveau des joint longitudinaux dans le plan du diaphragme.

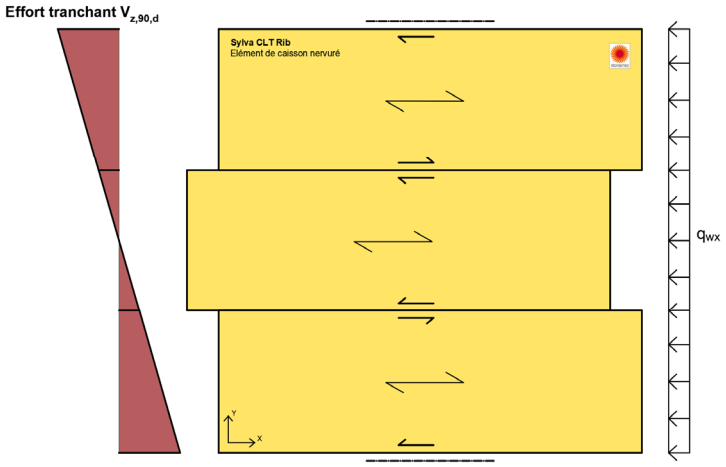
Ces actions résultent des forces de vent et sismiques sur la structure globale et s'appliquent dans les deux directions parallèle et perpendiculaire à la portée (cf. Figure 62).

Le transfert de forces perpendiculaires à la portée est dans la plupart des cas simplement résolu. Le premier et dernier caisson nervuré reprennent les charges horizontales comme une poutre orientée perpendiculairement aux efforts horizontaux et les transfèrent dans les éléments stabilisants inférieurs (murs par exemple).

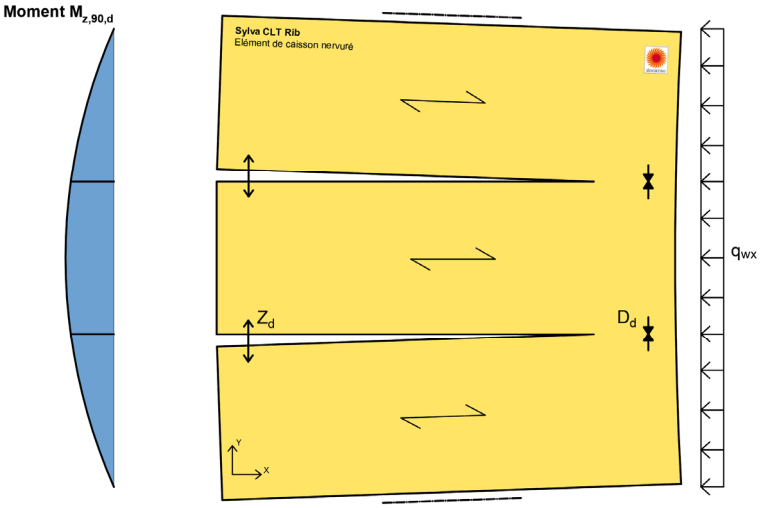
La capacité dans la direction parallèle à la portée requiert quelques justifications additionnelles pour le dimensionnement des assemblages des joints longitudinaux.

Due aux charges horizontales s'appliquant sur les caissons nervurés, des forces de cisaillement ainsi que des forces de compression et de traction apparaissent dans les joints longitudinaux du diaphragme.

a) Cisaillement le long des joints longitudinaux



b) Forces de traction et forces de compression causées par la flexion perpendiculaire au fil des panneaux de diaphragme



L'impact dans la direction des joints longitudinaux entre panneaux se résulte par :

a) forces de cisaillement le long des joints ;

b) forces de traction Z_d et forces de compression D_d causées par la flexion perpendiculaire au fil des panneaux de diaphragme qui apparaissent en simultanée au niveau des joints intermédiaires.

Les forces de cisaillement dans les joints intermédiaires entre panneaux doivent être reprise par des connecteurs métallique dimensionnés à cet effet.

Les efforts de traction sont repris conjointement par :

- Les organes d'assemblages entre panneaux de planchers ;
- Les systèmes de fixations assurant également le liaisonnement plancher/mur ;
- D'autres assemblages dédiés à la reprise de ces efforts.

Flexion et cisaillement causées par la flexion parallèle au fil des panneaux de diaphragme en tant que poutre horizontale

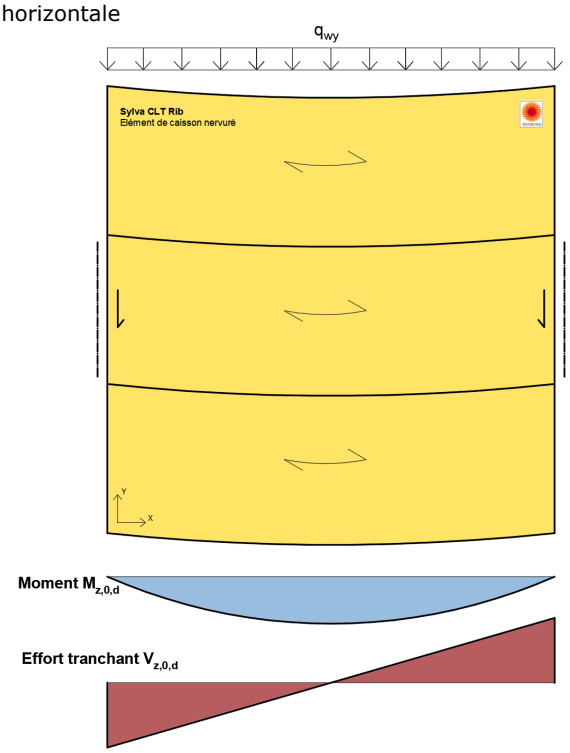


Figure 62: Sollicitations sur diaphragme horizontal et mécanismes de rupture.

Un modèle de calcul analytique pour la détermination des forces qui s'exercent dans le joint longitudinal par connecteur est présenté dans les paragraphes suivants. Par ailleurs il faut mentionner que le dimensionnement de connecteurs et système d'assemblage, la capacité résistante dans le joint longitudinal, les forces verticales et les forces horizontales doivent être combinées. Les diaphragmes horizontaux se composent de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur comme dans l'exemple présenté ci-dessous (Figure 63).

Les efforts de cisaillement dus aux charges horizontales que sont le vent et le séisme sont transmis par les organes d'assemblages au niveau des joints (1-2, 2-3, 3-4 et 4-5 pour l'exemple ci-dessous) et les murs latéraux (A et B dans l'exemple ci-dessous). La valeur des efforts internes du diaphragme à transmettre par ces assemblages est calculée en modélisant le diaphragme de plancher comme une poutre orientée perpendiculairement aux efforts horizontaux. Le diagramme des efforts tranchants dans cette poutre peut être déterminé et les valeurs des réactions « aux appuis » de cette poutre correspondent aux efforts transmis aux murs inférieurs :

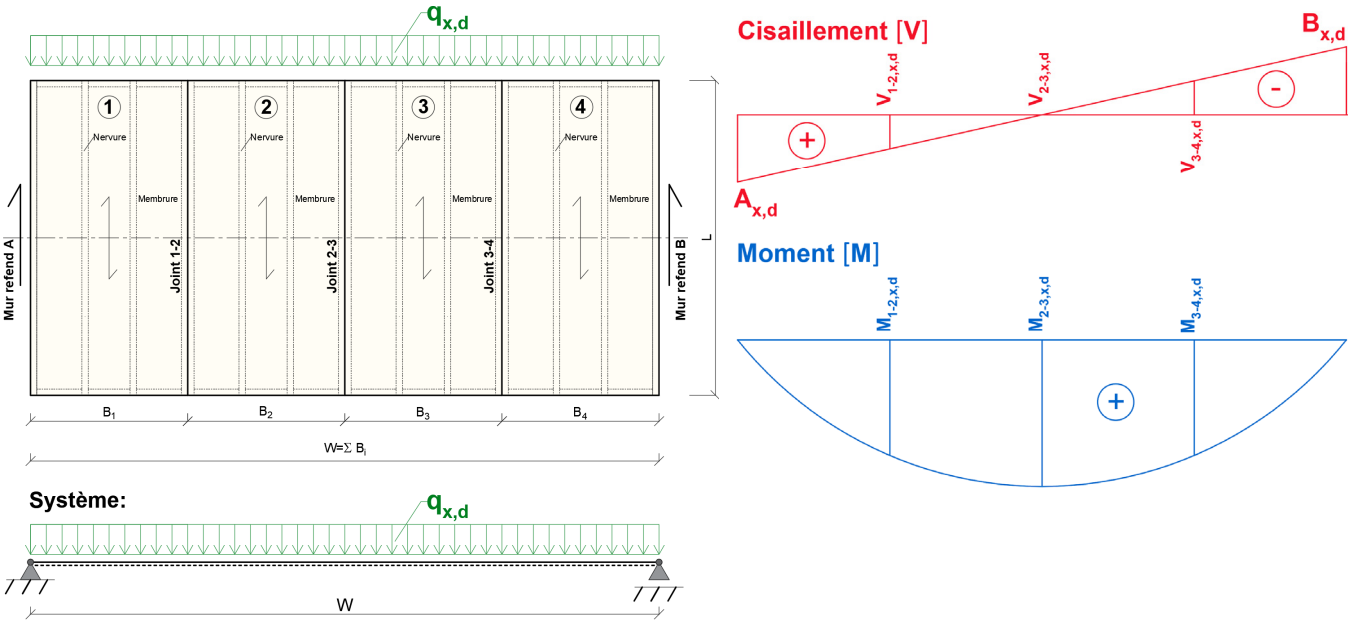


Figure 63: Modélisation d'un diaphragme de caisson nervuré Sylva™ CLT Rib dans la direction de la portée et diagramme des efforts internes associés.

2.3.11.1.3. Vérification du cisaillement horizontal le long des joints longitudinaux entre panneaux

2.3.11.1.3.1. Contrainte de cisaillement coplanaire dans les membrures CLT Stora Enso

Le cisaillement coplanaire dans le panneau CLT doit être vérifié selon le §2.3.6.4.1 du présent dossier technique.
La force de cisaillement linéique en [N/mm] à considérer est :

$$n_{xy} = \frac{V_{x,d}}{L}$$ Eq. 160

où:

$V_{x,d}$ est la valeur de calcul de l'effort tranchant à transférer au niveau des joints longitudinaux respectifs [N] ;

L est la longueur du joint longitudinal (sens de la portée) [mm].

2.3.11.1.3.2. Nombre de connecteurs requis pour le transfert des forces de cisaillement aux éléments adjacents

$$n_{req,d} = \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}}$$ Eq. 161

$$F_{V,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{V,Rk}}{\gamma_M}$$ Eq. 162

où :

$F_{V,Ed} = V_{x,d}/n_{plan}$ est la valeur de calcul de l'effort tranchant par plan de cisaillement de l'organe d'assemblage à transférer au niveau des joints longitudinaux respectifs [N] ;

$F_{V,Rk}$ est la valeur caractéristique de la capacité résistante par plan de cisaillement par organe d'assemblage [N], en accord avec les équations de Johansen présentes dans la norme EN1995-1-1, équations (8.6) ;

$F_{V,Rd}$ est la valeur de calcul de la capacité résistante par plan de cisaillement par organe d'assemblage [N] ;

k_{mod} est le facteur modificatif (EN1995-1-1, Table 3.1) ;

γ_M est le coefficient partiel utilisé pour le dimensionnement d'organes métalliques de type tige en accord avec EN1995-1-1.

2.3.11.1.3.3. Détermination de la zone de compression et du moment limite dans un joint longitudinal de diaphragme horizontal

Le moment maximum au niveau du joint longitudinal se produit lorsque la contrainte de compression au niveau du chant de la membrure CLT en extrémité du joint et la capacité résistante du connecteur situé en extrémité du joint sont atteintes. (cf. Figure 64 et Figure 65). La distance X pour déterminer la zone chargée en compression se calcule comme suit :

Equilibre

$$\sum F_x = 0 : \frac{1}{2} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90} \cdot X - \sum_{i=1}^{n} F_i = 0 \qquad \text{Eq. 163}$$

avec

$\frac{1}{2} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90} \cdot X \rightarrow$ Étant la capacité résistante du panneau dans la zone de compression [N]

Cette compression est reprise par les plis transversaux sur son chant en direction transversale.

Avec

$$F_i = K_{ser} \cdot \varphi \cdot (X_i - X) \qquad \text{Eq. 164}$$

Pour le connecteur situé en extrémité du joint respectivement :

$F_n = K_{ser} \cdot \varphi \cdot (X_n - X) = F_d$

$$K_{ser} \cdot \varphi = \frac{F_d}{(X_n - X)} \qquad \text{Eq. 165}$$

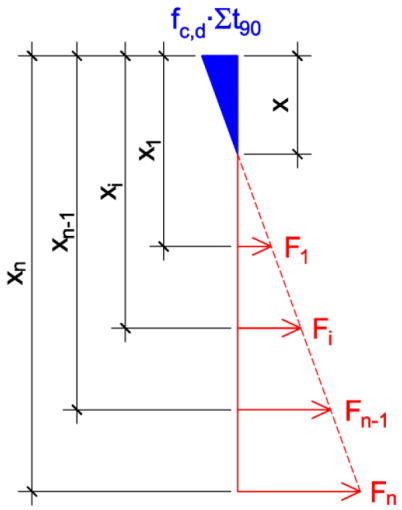


Figure 64: Zone de compression (bleue) et zone de traction (rouge) avec capacité résistante du connecteur situé en extrémité.

$F_n = F_d = R_d = n_{end} \cdot R_{i,d} = \sum R_{i,d}$ est la capacité résistante totale de l'assemblage à l'extrémité de la zone de traction en [N] avec n_{end} étant le nombre de connecteurs participant à l'assemblage à l'extrémité du joint (cf. Figure 66).

φ est l'angle du plan de déformation

$$\varphi = \frac{F_d}{K_{ser} \cdot (X_n - X)} \qquad \text{Eq. 166}$$

$\sum F_x = 0 :$

$$\frac{1}{2} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90} \cdot X - \sum_{i=1}^{n} K_{ser} \cdot \varphi \cdot (X_i - X) = 0 \qquad \text{Eq. 167}$$

$$\frac{1}{2} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90} \cdot X - \frac{F_d}{(X_n - X)} \cdot \sum_{i=1}^{n} (X_i - X) = 0$$

Equation quadratique du second degré pour la distance X de l'axe neutre par rapport à l'extrémité chargée en compression :

$$X^2 - \left(X_n + 2 \cdot \frac{n \cdot F_d}{f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90}} \right) \cdot X + 2 \cdot \frac{F_d}{f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90}} \cdot \sum_{i=1}^{n} X_i = 0$$

Distance $\boldsymbol{X}$ de l'axe neutre par rapport à l'extrémité chargée en compression

$$X_{1,2} = \left(\frac{X_n}{2} + \frac{n \cdot F_d}{f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90}} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{X_n}{2} + \frac{n \cdot F_d}{f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90}} \right)^2 - 2 \cdot \frac{F_d}{f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90}} \cdot \sum_{i=1}^{n} X_i} \qquad \text{Eq. 168}$$

avec

n	est le nombre de connecteurs le long du joint longitudinal ;
X_n	est la distance du connecteur situé en extrémité du joint, là où les actions de traction max sont appliquées [mm] ;
X_i	est la distance du i^{ème} connecteur [mm] ;
$f_{c,0,d}$	est la valeur de calcul de la résistance en compression parallèle au fil du CLT [N/mm²] ;
t_{90}	est l'épaisseur totale des plis transversaux du CLT en compression [mm] ;
K_{ser}	le module de glissement par plan de cisaillement et par organe [N/mm].

Etant donné que les raideurs d'assemblage en extrémité de joint sont faibles, l'axe neutre déterminant la zone de compression est proche de la rive où la force est appliquée. La distance peut aussi être considérée à X=0 qui est dans ce cas une approche conservative.

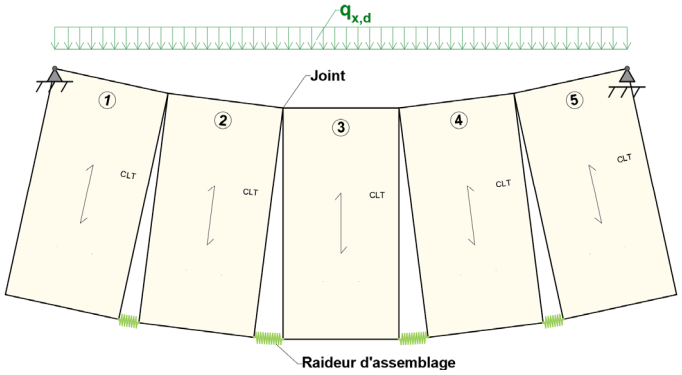


Figure** 65**: Comportement d'un diaphragme horizontal dans la direction longitudinale avec raideur d'assemblage représentée au niveau des joints longitudinaux en extrémité de caissons.

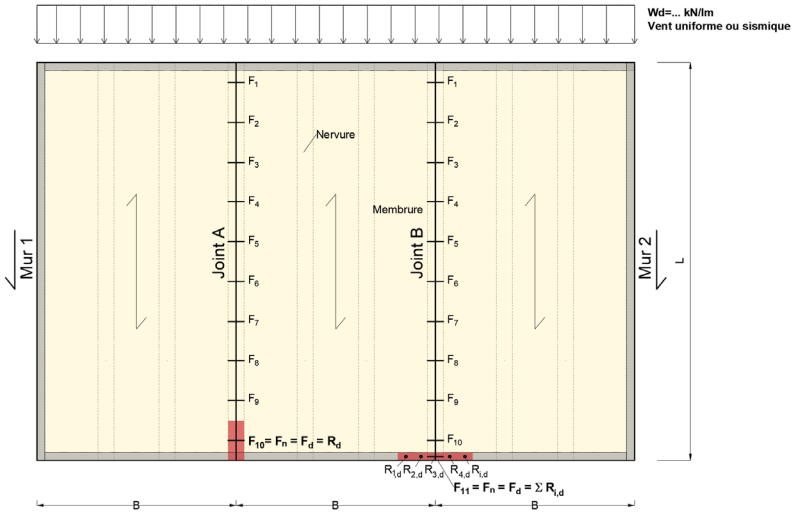


Figure 66: Connecteurs placés dans les joints longitudinaux et détermination de la capacité résistante de l'organe d'assemblage d'extrémité F_d – Gauche (Joint A) : Organe d'assemblage seul en extrémité ; Droite (Joint B) : Organes d'assemblage multiples en extrémité.

Remarque : Il est assumé comme hypothèse avec ce modèle que le module de glissement est identique le long des joints longitudinaux. Cela implique que les mêmes connecteurs soient utilisés pour les joints longitudinaux du diaphragme, ce qui est souvent le cas.

Les organes d'assemblage au niveau des joints longitudinaux entre panneaux peuvent donc être sollicités en cisaillement parallèle au joint et en cisaillement transversal (induit par l'effort de traction).

Moment limite

$$\sum M = 0 : -\frac{1}{2} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90} \cdot X \cdot \frac{X}{3} + K_{ser} \cdot \varphi \cdot \sum_{i=1}^{n} (X_i - X) \cdot X_i - M = 0$$

$$M_{limit} = \frac{F_d}{(X_n - X)} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} ({X_i}^2) - X \cdot \sum_{i=1}^{n} X_i \right) - \frac{X^2}{6} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90}$$

Eq. 169

Vérification :

Pour chaque joint longitudinal composant le diaphragme comme présenté en Figure 63, le moment fléchissant doit être comparé respectivement avec le moment limite M_{limit} calculé pour le joint :

$M_{1,2,x} \leq M_{limit,1,2}$
$M_{2,3,x} \leq M_{limit,2,3}$
$M_{3,4,x} \leq M_{limit,3,4}$
$M_{4,5,x} \leq M_{limit,4,5}$
$M_{\dots,x} \leq M_{limit,\dots}$

Eq. 170

Force de compression résultante

$$\rightarrow C = F_{c,d} = \frac{1}{2} \cdot f_{c,0,d} \cdot \sum t_{90} \cdot X$$

Eq. 171

Force dans le i^{ème} connecteur

$$\rightarrow F_i = K_{ser} \cdot \varphi \cdot (X_i - X) = F_d \cdot \frac{(X_i - X)}{(X_n - X)}$$

Eq. 172

Il s'agit d'un modèle élastique simple, qui ne peut pas considérer le comportement non-linéaire qui peut se produire. Néanmoins, c'est une méthode valide qui permet la vérification des diaphragme horizontaux.

Résumé des vérifications :

- Cisaillement coplanaire dans les membrures Stora Enso CLT (en direction longitudinale et transversale) ;
- Flexion parallèle au fil des panneaux de diaphragme en tant que poutre horizontale ;
- Cisaillement des connecteurs parallèle au joint longitudinal entre membrures dû au transfert des forces de cisaillement aux caissons adjacents ;
- Traction et compression causées par la flexion perpendiculaire au fil des plis extérieurs des panneaux de diaphragme
- Cisaillement des connecteurs transversal au joint longitudinal entre panneaux induit par l'effort de traction en extrémité opposée à l'action ;
- Pour cette vérification, il faut définir la capacité résistante de l'assemblage situé en extrémité du joint, là où les efforts de traction maximum sont appliqués [N] ;
    - Si un organe d'assemblage seul est présent en extrémité (Joint A en Figure 66), on considère la capacité résistante totale au niveau du dernier connecteur : $R_d = F_n = F_d$
    - Si des organes d'assemblage multiples sont présents en extrémité (Joint B en Figure 66), on considère la capacité résistante totale au niveau des derniers connecteurs : $R_d = \sum R_{i,d} = F_n = F_d$
    - F_d est la force de calcul maximum qui peut être appliquée au niveau du/des organe(s) d'assemblage en extrémité de joint longitudinal [N] ;
    - $R_{i,d}$ est la valeur de calcul de la capacité résistante des connecteurs en extrémité de joint en [N] par plan de cisaillement par organe, calculées en accord avec les équations de Johansen présentes dans la norme NF EN1995-1-1, équations (8.6). Les forces de traction sont reprises en cisaillement transversal par les connecteurs.
- Lorsque la valeur de la capacité résistante de l'organe d'assemblage d'extrémité F_d et de K_{ser} des connecteurs placés le long du joint longitudinal est connue, les forces de traction F_i qui s'appliquent à chaque connecteur en fonction de leur distance par rapport à la rive comprimée peuvent être calculées. Le but de la méthode présentée étant de calculer le moment maximum M_{limit} qui peut être appliqué au diaphragme horizontal dans la direction longitudinale du panneau CLT en se basant sur la capacité résistante totale F_d de l'organe d'assemblage présent en extrémité.
- Compression (parallèle au fil) à chant du panneau CLT reprise par les plis transversaux, une zone de compression est déterminée en fonction de la distance X présentée précédemment.

2.3.11.2. Dispositions relatives au dimensionnement en zone sismique

2.3.11.2.1. Principes généraux

En cas d'utilisation en zones sismiques pour lesquelles des dispositions sont requises au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, les fonctions diaphragme, tirants-butons et l'intégrité suite au séisme doivent être vérifiées.

Les effets des actions sont calculés sur la base d'une analyse élastique linéaire suivant la méthode des forces latérales équivalentes du §4.3.3.2 ou de la réponse modale du §4.3.3.3 de la norme NF EN 1998-1-1 selon la régularité en plan et en élévation du bâtiment.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib utilisés sont organisés afin d'observer les points suivants :

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- Les diaphragmes doivent pouvoir transmettre, avec une sur-résistance suffisante, les effets de l'action sismique aux divers contreventements auxquels ils sont liés ; cette prescription est considérée comme satisfaite si, pour effectuer les vérifications de résistance appropriées, les effets de l'action sismique sont multipliés par un coefficient de sur-résistance $\gamma_d = 1{,}3$ défini dans la norme NF EN 1998-1 § 4.4.2.5 (1)P ;
- La fonction tirant-buton horizontal assurée uniquement par les panneaux CLT (seuls les plis orientés dans le sens de l'effort à reprendre sont considérés). La valeur de l'effort tirant-buton doit être déterminée par une étude sismique spécifique. Cet effort sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 kN/ml ou l'effort de tirant-buton déterminé ;
- Par calcul la fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits ;
- Assurer la continuité du chainage dans la direction transversale aux panneaux par rajout d'un élément reliant les panneaux ;
- La couture plancher/mur en périphérie devra notamment être réalisée avec a minima une vis tous les 15 cm. La couture entre plancher et mur doit impérativement être réalisée par l'intermédiaire d'une lisse de chainage continue assurant la répartition des efforts ;
- La détermination de la longueur de flambement des membrures tiendra compte de la présence des fixations tout en négligeant leur apport en termes de résistance ;
- Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib peuvent être utilisés avec des procédés ayant une capacité moyenne à dissiper l'énergie (DCM) ou réduite (DCL) selon la norme NF EN 1998-1 § tableau 8.1.

Les déplacements entre étages en situation sismique devront être conformes à l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, au §4.4.3.2 de la norme NF EN 1998-1 et au §2.4 du guide « Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti Justifications parasismiques pour le bâtiment « à risque normal » version 2 de septembre 2014, délivré par le Ministère de l'égalité des territoires et du logement et le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

Les assemblages par collage ne sont pas à considérer comme des zones dissipatives au sens de la NF EN 1998-1-1 (§8.2).

Les assemblages entre les diaphragmes horizontaux et les éléments verticaux résistants aux forces latérales doivent être dimensionnés avec une sur-résistance suffisante suivant la norme NF EN 1998-1 § 8.6 (4)P.

Le transfert des efforts de cisaillement sismique aux extrémités des panneaux vers les murs latéraux sera donc réalisé via des connecteurs et organes métallique.

2.4. Dimensionnement vis-à-vis des situations d'incendie

La résistance, l'étanchéité et l'isolation au feu (REI) des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont calculées conformément à l'Appréciation de laboratoire AL18-234 du CSTB [3].

Les dispositions du § 1.2.1.2 de l'annexe de la partie Avis s'appliquent.

2.5. Dispositions de mise en œuvre

2.5.1. Dispositions constructives générales

Lorsque les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont utilisés pour la réalisation de bâtiments entrant dans le domaine d'application du NF DTU 31.2, c'est à dire d'une manière générale pour les bâtiments dont la structure principale porteuse est en bois, les dispositions non spécifiquement visées dans le cadre de cet Avis Technique doivent être conformes aux prescriptions des NF DTU 31.1, NF DTU 31.2 et DTU 51.3 pour la conception et aux prescriptions des Eurocodes pour le calcul.

Lorsque les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont utilisés pour la réalisation de bâtiments n'entrant pas dans le domaine d'application des différents DTU (par exemple éléments Sylva™ CLT Rib utilisés pour réaliser les planchers d'un bâtiment à structure porteuse verticale en béton armé ou en maçonnerie de petits éléments), la réalisation des interfaces doit tenir compte des exigences éventuelles des textes visant les autres éléments porteurs (NF EN 1992-1-1, NF DTU 20.1, etc…).

Lorsque les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont posés sur leurs appuis, la profondeur minimale - toutes tolérances épuisées - est de 45 mm.

Dans tous les cas la surface d'appui - toutes tolérances épuisées – doit être justifiée vis-à-vis de la contrainte de compression transversale dans le caisson Sylva™ CLT Rib .

Les vides et les ouvertures dans les nervures en lamellé-collé des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont réalisés uniquement en usine et au nombre de 3 maximum par nervure. Le calcul de la largeur efficace de la nervure en lamellé-collé devra prendre en compte le facteur de fissuration k_{cr} = 0,67.

2.5.2. Dispositions générales relatives aux chantiers

2.5.2.1. Transport

Les dispositions liées au transport données dans le § 6.1 du e-cahier du CSTB 3802_P2 s'appliquent aux caissons nervurés Sylva™ CLT Rib. Les éléments sont livrés sur le chantier par transport routier en position horizontale prêts à être mise en œuvre à l'aide d'une grue.

2.5.2.2. Réception et stockage sur chantier

Les dispositions données dans le § 6.2 du e-cahier du CSTB 3802_P2 s'appliquent aux caissons nervurés Sylva™ CLT Rib.

En cas de stockage sur chantier, le taux d'humidité des éléments à la sortie de l'usine avoisinant 12% ± 2 %, il convient d'en limiter la durée afin d'éviter les reprises d'humidité.

2.5.2.3. Phase de mise en œuvre

Les dispositions du e-Cahier 3802_P2 du e-CSTB §6.3 s'appliquent aux caissons nervurés Sylva™ CLT Rib. Ce paragraphe contient notamment des précisions sur :

- Prévention des accidents et maîtrise des risques lors de la mise en œuvre et de l'entretien des panneaux (décrit au §6.3.1 du e-Cahier 3802_P2 du CSTB) ;
- Stabilité provisoire des éléments (décrit au §6.3.2 du e-Cahier 3802_P2 du CSTB) ;
- Levage des panneaux utilisés (en plancher dans le cas des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib) (décrit au §6.3.3 du e-Cahier 3802_P2 du CSTB) ;
- Les caissons sont généralement munis de quatre points d'ancrage. Les points de levage sont conçus et déterminés par un bureau d'étude en prenant en compte de la charge à lever par les élingues (une masse volumique de 500 kg/m3 est considérée pour le panneau). Des informations plus détaillées sur les systèmes de levage sont disponibles dans la documentation Stora Enso « CLT Lifting Guideline » téléchargeable sur le site internet dans la rubrique Brochures and downloads - CLT | Stora Enso .

Le protocole de montage devra préciser les modes de manutention et les dispositions des points de levage (type, nombre, résistance), au cas par cas ainsi que les dispositifs pour assurer leur stabilité provisoire. Ces éléments seront clairement identifiés sur les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib livrés sur chantier.

Les éléments de levage ne sont pas visés par cet avis technique.

Les éléments Sylva™ CLT Rib devront être protégés des intempéries lors des phases transitoires.

Lors du second œuvre :

Les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib en œuvre doivent recevoir une protection vis-à-vis du risque d'humidification.

Le risque d'humidification est d'autant plus important lors de la mise en œuvre des éléments de second œuvre où il y a une évaporation de l'eau incluse dans un certain nombre de matériaux de la filière humide, tels que les chapes de ravoirages, les chapes humides rapportées, les enduits, etc. nécessitant des phases de séchages et engendrant donc une phase d'évaporation d'eau dans le bâtiment.

Pour assurer le renouvellement de l'air dans le bâtiment lors de cette phase, il convient de prévoir une ventilation naturelle, ou, si elle n'est pas suffisante, de mettre en place un système de ventilation mécanique, ce qui permettra de ramener le rapport W/n à une valeur inférieure à 5 g/m3 et ainsi obtenir une ambiance de chantier satisfaisante.

Il sera primordial que pour toute la durée du chantier, l'ambiance intérieure soit contrôlée et surveillée particulièrement lors de la première mise en chauffe du bâtiment. Etape pour laquelle le renouvellement d'air sera un élément clé.

2.5.2.4. Dispositions complémentaires relatives au montage

Les dispositions du e-Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3.4 s'appliquent.

2.5.2.5. Dispositions relatives aux supports / tolérances

La planéité des fondations du bâtiment doit être vérifiée avant la date du montage et, le cas échéant corrigé par calage conformément aux prescriptions définis dans le § 6.3.4.1 du e-cahier du CSTB 3802_P2.

2.5.2.6. Dispositions relatives aux revêtements intérieurs

Pour les plafonds en sous-face de caissons, les revêtements intérieurs peuvent être :

Directement mis en œuvre sur le CLT (dans le cas des caissons nervurés inversés ou fermés) ou sur le CLT entre les nervures (dans le cas des caissons nervurés ouverts). Dans ce cas le référentiel dudit revêtement doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT ;

Mis en œuvre sur un ouvrage intermédiaire (par exemple plafond en plaque de plâtre conforme au NF DTU 25.41). Dans ce cas, le référentiel dudit ouvrage intermédiaire doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT. Le référentiel du revêtement doit bien entendu viser la pose sur ledit ouvrage intermédiaire. Cet ouvrage intermédiaire est soit positionné en dessous des nervures ou de la membrure CLT inférieure soit positionné entre les nervures selon le type de caisson (cf § 2.11.4 en annexe du dossier technique).

2.5.2.7. Dispositions relatives aux revêtements de sol

Les revêtements non fragiles doivent être mis en place suivant les dispositions des DTU ou des Avis Techniques visant les supports bois. Les revêtements fragiles doivent être mis en place en pose désolidarisée sur un procédé faisant l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois.

2.5.2.7.1. Mise en œuvre des revêtements de sol désolidarisés

Pour les sols, les revêtements intérieurs peuvent être :

Directement mis en œuvre sur la membrure CLT ; dans ce cas le référentiel dudit revêtement doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT ;

Mis en œuvre sur un ouvrage intermédiaire (par exemple une chape) ; dans ce cas, le référentiel dudit ouvrage intermédiaire doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT. Le référentiel du revêtement doit bien entendu viser la pose sur ledit ouvrage intermédiaire.

Dans le cas des caissons nervurés inversés, la mise en œuvre d'un panneau à base de bois conforme au NF DTU 51.3 est nécessaire.

Les caractéristiques des planchers du présent Avis Technique permettent de répondre aux exigences des chapes ou revêtements de sol visant les planchers bois spécifiés dans les normes de mises en œuvre suivantes et uniquement pour les revêtements désolidarisés :

- Dans le DTU 51.3 pour la pose des revêtements de sol ;
- Dans les Recommandations Professionnelles RAGE « Chapes et dalles sur planchers bois – neuf » pour la mise en œuvre des chapes relevant du DTU 26.2 ;
- Dans le DTU 51.3 pour la mise en œuvre des chapes relevant des Avis Techniques visant le support bois.

Concernant la vérification du support :

- La vérification de l'humidité devra être réalisée conformément au guide Construction bois et gestion de l'humidité en phase chantier (CODIFAB – Avril 2020) en considérant les compléments suivants et devra faire l'objet d'une fiche d'autocontrôle qui prendra la forme d'un « Bon à Fermer » (cf. Tableau 13) :
  - La mesure d'humidité doit être mesurée régulièrement, au moins une fois par mois, jusqu'au jour du « Bon à Fermer » conformément au §3.1 du guide CODIFAB ;
  - Les points de mesure doivent être répartis régulièrement, à raison de 2 points de contrôle tous les 100 m² d'un local : une proche de la façade et une au centre de la pièce ;
  - Pour le « Bon à Fermer », une mesure complémentaire d'humidité devra être relevée à 2 cm de profondeur ;
  - Les résultats obtenus devront être de 15±3% si la structure a été dimensionnée en classe de service 2 et de 12±2% si la structure a été dimensionnée en classe de service 1.
- Planéité et désaffleurement : imposés par le référentiel de la chape ou du revêtement de sol ou, à défaut, ceux du DTU 51.3. En cas de reprise de désaffleurement, un ponçage 5 mm au plus pourra être réalisé à l'aide d'une ponceuse par le charpentier ;
- Largeur des joints entre panneaux : La vérification de la largeur de joint devra être réalisée et consignée par le charpentier avant la mise en place des bandes adhésives. Si l'ouverture du joint entre panneaux est inférieure à 2 mm, il n'est pas nécessaire de traiter les joints. Lorsque l'ouverture des joints est supérieure à 2 mm sans dépasser 10 mm, ceux-ci doivent être remplis de mastics souples compatibles avec les éléments bois et doivent être affleurés. La mise en œuvre de ce mastic sera réalisée par le charpentier ;
- Continuité au droit des appuis : La rotation sur appui induit une ouverture entre deux panneaux, inférieure à 2 mm. Lorsqu'elle est nécessaire pour le revêtement de sol, la continuité peut être réalisée par la mise en place d'une jonction par languette en LVL-X 27mm d'épaisseur avec une vis 6x80mm, entraxe 30cm max permettant d'assurer la continuité. La déformation du plancher n'est pas subie par le revêtement de sol au droit des appuis.

Il relève de la conception d'éviter toute présence de point dur au moment du coulage de la chape (exemple : connecteurs nervurés).

2.5.2.8. Protection en phase chantier

Les dispositions données dans le § 6.3.4.2 du e-cahier du CSTB 3802_P2 sont applicables. En outres, les recommandations du guide « Construction bois et gestion de l'humidité en phase chantier » réalisé par Ingénéco Technologies à l'initiative de la FFB, de l'UIBC et de la CAPEB et avec le soutien du CODIFAB sont applicables aux caissons nervurés Sylva™ CLT Rib.

2.6. Performance acoustiques – compositions de plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib testés

Stora Enso tient à disposition des compositions de plancher dont les caractéristiques acoustiques ont été testées en laboratoire et/ou in situ (Les valeurs sont issues du rapport de test [28]).

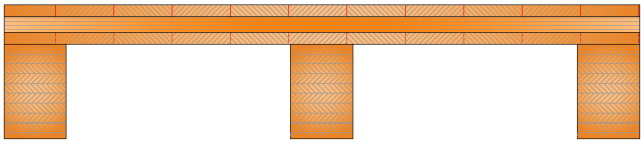
Les performances obtenues sont fonction des éléments composant les caissons et de leurs épaisseurs.

Les tests portant sur la performance acoustique cités ci-après ont été réalisés selon les normes internationales :

- R_w selon la norme ÖNORM EN ISO 10140-2, évaluation selon ÖNORM EN ISO 717-1 ;
- L_n selon la norme ÖNORM EN ISO 10140-3, évaluation selon ÖNORM EN ISO 717-2 ;
- D_{nTw} selon la norme DIN EN ISO 140-7, évaluation selon DIN EN ISO 717-2 ;

Unités en [dB]

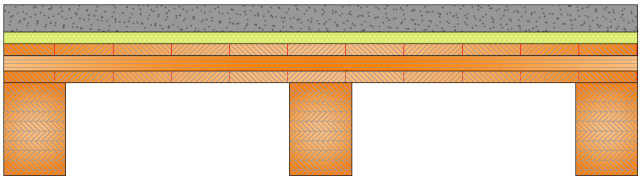
1. Stora Enso Sylva™ CLT Rib ouvert : Caisson nervuré seul – sans complexe de plancher



100 mm membrure CLT
160 X 240mm nervure GLT

R_w	36	$L_{n,w}$	91
C	-1	C_I	-6
C_{tr}	-4	$C_{I,50}$	-6

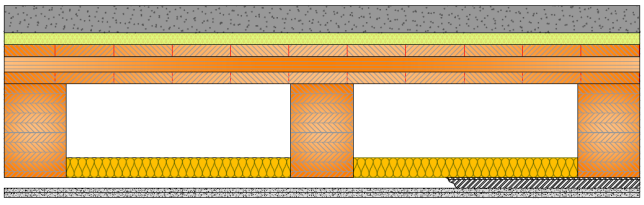
2. Stora Enso Sylva™ CLT Rib ouvert : chape humide + laine minérale



70 mm Chape humide
30 mm Isolation aux bruits d'impact - Laine minérale
100 mm membrure CLT
160 X 240 mm nervure GLT

R_w	60	$L_{n,w}$	65
C	-2	C_I	-5
C_{tr}	-5	$C_{I,50}$	-2

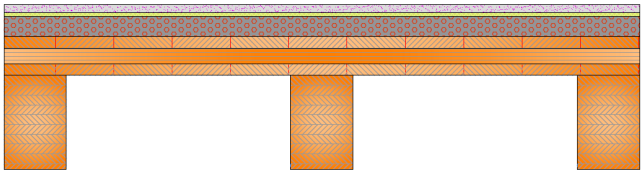
3. Stora Enso Sylva™ CLT Rib ouvert : chape humide + laine minérale + plafond



70 mm Chape humide
30 mm Isolation aux bruits d'impact - Laine minérale
100 mm membrure CLT
160 X 240 mm nervure GLT
50 mm Isolation - Laine minérale
27 mm Lame d'air avec profilé métallique résilient
2 x 12.5 mm Plaque de plâtre à base de fibres-gypse

R_w	75	$L_{n,w}$	47
C	-1	C_I	-3
C_{tr}	-6	$C_{I,50}$	7

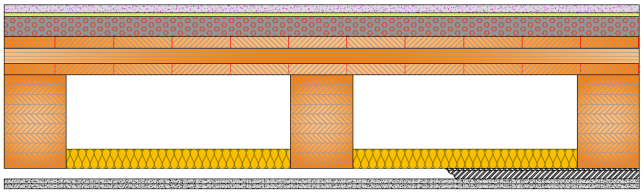
4. Stora Enso Sylva™ CLT Rib ouvert : chape sèche + gravier



20 mm Chape sèche avec plaques de fibres-gypse
10 mm Isolation aux bruits d'impact- Fibres de bois
50 mm Gravier en vrac
100 mm membrure CLT
160 X 240 mm nervure GLT

R_w	58	$L_{n,\,w}$	60
C	-4	C_I	1
C_{tr}	-11	$C_{I,50}$	1

5. Stora Enso Sylva™ CLT Rib ouvert : chape sèche + gravier + plafond



20 mm Chape sèche avec plaques de fibres-gypse
10 mm Isolation aux bruits d'impact- Fibres de bois
50 mm Gravier en vrac
100 mm membrure CLT
160 X 240 mm nervure GLT
50 mm Isolation - Laine minérale
27 mm Lame d'air avec profilé métallique résilient
2 x 12.5 mm Plaque de plâtre à base de fibres-gypse

R_w	69	$L_{n,\,w}$	45
C	-6	C_I	3
C_{tr}	-14	$C_{I,50}$	9

2.7. Traitement de préservation

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du caisson Sylva™ CLT Rib dans l'ouvrage d'une part, et à l'essence utilisée d'autre part, un traitement de préservation du bois peut être nécessaire. Il convient de respecter à cet égard les prescriptions des normes NF EN 335 et NF EN 350.

Conformément à la réglementation en vigueur, les caissons nervurés Sylva™ CLT Rib qui participent à la solidité des bâtiments devront être protégés par une durabilité conférée ou naturelle contre les insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire et en complément, contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris par l'application de l'article L. 126-6 et L.131-3. Les bâtiments neufs doivent être conçus et construits de façon à résister à l'action des termites et autres insectes xylophages. A cet effet doivent être mis en œuvre, pour les éléments participant à la solidité des structures, soit des bois naturellement résistant aux insectes ou des bois ou matériaux dérivés dont la durabilité a été renforcée, soit des dispositifs permettant le traitement ou le remplacement des éléments en bois ou matériaux dérivés.

2.8. Assistance technique

La conception et le calcul des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib sont à la charge du bureau d'études techniques (BET) référencé par le service d'assistance technique Stora Enso CLT. Le BET doit également fournir un plan de pose complet de la structure (les plans d'exécution détaillés comprenant le calepinage et le sens des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib , les types et détails des ancrages et chaînages et autres détails (traitement des ouvertures, etc…)). Stora Enso prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre. Stora Enso Wood Products fournit une assistance technique sur demande en phase de conception et de préparation d'exécution de la structure. Le logiciel de dimensionnement en ligne « Calculatis® » est tenu à disposition des bureaux d'études par Stora Enso Wood Products afin de vérifier en phase définitive les éléments porteurs en caissons nervurés Sylva™ CLT Rib.

2.9. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.9.1. Fabrication des panneaux Sylva™ CLT Rib

La fabrication des panneaux Stora Enso CLT est réalisée conformément au Document Technique d'Application n° 3.3/15-798_V5 relevant de l'Évaluation Technique Européenne ETA-14/0349.

La fabrication des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib est assurée exclusivement par les sociétés Stora Enso Oyj sur ses sites de production de panneaux CLT en Autriche et ACDF Industrie en France.

2.9.2. Fabrication des caissons nervurés Sylva™ CLT Rib

Dans le cadre d'une procédure interne d'autocontrôle dont les étapes sont indiquées ci-dessous. Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les composants d'une part et caissons nervurés Sylva™ CLT Rib finis d'autre part indiquant notamment :

- La procédure de réception et le stockage des matières premières ;
- La conformité du bois au classement mécanique annoncé selon la norme NF EN 338. Une procédure écrite doit définir les moyens mis en œuvre pour assurer la conformité de la qualité des bois au cahier des charges définis dans le Dossier Technique. Les bois utilisés doivent bénéficier d'un certificat visant à justifier de leur conformité aux normes en vigueur et en particulier concernant la classe de résistance annoncée ; l'essence des bois utilisée sera consignée au cahier des charges ;
- Les tolérances géométriques minimum à respecter ;
- Réception et stockage des panneaux CLT et des nervures GLT à une humidité de 12±2%. Une procédure doit définir les contrôles, leur fréquence et leur enregistrement ;
- Usinage éventuel ;
- Encollage de la surface de contact des nervures en respectant les quantités définies à l'aide d'un peigne ajusté ;
- Pressage du panneau sur les nervures par vissage ou par presse hydraulique ou pneumatique afin d'appliquer la pression nécessaire au collage structural. A la fin de cette étape, le temps d'ouverture maximum de la colle est respecté. Dans le cas où des vis sont présentes sur caissons nervurés Sylva™ CLT Rib, celles-ci n'ont pas de rôle structural et ne sont utilisés que pour assurer la pression d'encollage lors de la fabrication. ;

- Temps de pressage minimum sans déplacement du caisson nervuré pour ne pas induire de contraintes dans le joint de colle et permettre la polymérisation à cœur. Après pressage, les éléments collés sont suffisamment résistant pour être manipulés ;
- Traitement de préservation ;
- Temps de stabilisation pendant 24 heures à une température de 20°C ± 3°C ;
- Le contrôle visuel sur chaque élément fini ;
- Les caissons nervurés sont ensuite marqués conformément aux spécifications puis stockés en attendant leur expédition.

Pour le caisson fermé, même procédure que précédemment sur les deux membrures.

Pour le caisson inversé il s'agit de la même procédure que précédemment en ajoutant une rotation de l'élément pour le livrer dans sa position finale sur chantier.

L'ensemble des résultats ainsi que les dispositions prises en cas de résultat non conforme doivent être consignés sur un cahier ou sur des fiches de contrôle.

2.9.3. Contrôle de fabrication

Une procédure de contrôle qualité détaillé est fournie par Stora Enso et le processus de contrôle des caissons nervurés est mis en place dans chaque usine.

2.9.4. Contrôle interne et externe

Un contrôle interne de la fabrication est réalisé dans l'usine par le fabricant. Le contrôle interne de la fabrication, destiné à assurer la maîtrise de la qualité, est effectué en continu et vise à assurer la conformité de la production au présent document.

La conformité des performances du caisson nervuré Sylva™ CLT Rib doit être vérifiée dans le cadre d'une procédure de contrôle externe réalisée par un organisme externe notifié (valeur de résistance en cisaillement des plans de collage notamment).

Le contrôle interne couvre les méthodes de production ainsi que le stockage et les caractéristiques de chaque composant structurel collé. Les résultats de contrôle qualité interne sont consignés dans un registre spécifique à la disposition des organismes de contrôle externe (Holzforschung Austria pour les usines Stora Enso et CSTB pour les usines ACDF Industrie en France) qui réalisent une surveillance, une évaluation et une appréciation continues de la production en usine délivrant le marquage CE.

L'audit de contrôle externe est réalisé deux fois par an par l'organisme notifié.

La synthèse de ce contrôle externe doit être transmise une fois par an au CSTB.

Le contrôle interne est assuré tout au long du processus de fabrication. Les contrôles prévus sont présentés ci-dessous :

- Dimensions des éléments

Une vérification de la géométrie des nervures est effectuée (épaisseur, largeur et longueur). Toutes les mesures de dimensions sont documentées dans une fiche de contrôle dédiée à cet effet. L'état de surface des nervures et des CLT avant encollage est également vérifié.

- Taux d'humidité et température

Les composants CLT et lamellé-collé sont conditionnés au moins deux jours en usine avant l'assemblage. La température ambiante de l'atelier de production doit être située entre 16°C et 30°C, 20°C est optimal. L'humidité relative au sein de l'atelier de production se situe entre 35% et 65% (65% étant l'humidité relative optimale).

Une vérification du taux d'humidité des bois est réalisée : celle-ci doit être située entre 8% et 18% avec une différence du taux d'humidité entre les composants membrures CLT et nervures GLT qui ne doit pas excéder 5%.

La température du bois en surface est mesurée via un thermomètre surfacique : La température doit être supérieure à 18°C.

Le temps d'application de la pression est fonction de la température, de l'humidité des composants collés et des conditions ambiantes. De basses températures et humidité de l'air retardent le processus de prise; des températures et une humidité de l'air élevées accélèrent le processus de prise.

2.9.4.1. Suivi

Les données du contrôle interne sont consignées dans un registre spécifique qui précise notamment les éléments suivants :

- Date de fabrication ;
- Equipe et chef d'équipe ;
- Opérateur ;
- Dimensions des pièces assemblées (nervures et membrures) ;
- Numéro du lot de colle ;
- Type de colle utilisée ;
- Conditions ambiantes (Température et humidité relative) ;
- Taux d'humidité des bois (%) ;
- Temps enregistrés pour les différentes phases de collage ;
- Numérotation des pièces ;
- Essence des bois utilisés ;
- Quantité de colle appliquée (g/m²) et remarques ;
- Temps d'assemblage et de pressage ;
- Qualité de surface des parties assemblées ;
- Remarques sur les coulures de colle au niveau du joint (oui/non).

Tous les paramètres précédents sont enregistrés dans une fiche de contrôle du caisson avec toutes les informations relatant de la production qui y sont rapportées, ainsi que les résultats des contrôles et des essais (voir § 2.9.4.2). Ces fiches sont ajoutées aux dessins de productions et sont archivées.

2.9.4.2. Prélèvement et essais

Pour garantir un contrôle qualité approprié et justifier la qualité du joint de colle structural, des échantillons sont prélevés au niveau de l'interface entre nervure et membrure selon le plan de contrôle prévu avec l'organisme notifié. L'échantillon est prélevé selon la norme NF EN 14080, chapitre D.4 [5].

Les essais suivants sont réalisés conformément au plan de contrôle qualité :

- Mesure de l'épaisseur du joint de colle : L'épaisseur du joint de colle doit être ≤ 0,30mm. L'épaisseur du joint colle est primordiale car elle assure les bonnes conditions à la pression de collage.
- Essai de cisaillement conformément à la norme NF EN 14080 (chapitres D.2, D.3 4 et tableau 10).
- Essai de délamination : Deux fois par an, des tests de délamination seront effectués selon la norme NF EN 16351 par l'organisme notifié externe (Holzforschung Austria et le CSTB) afin de vérifier la conformité du joint de colle.

Les différents contrôles et essais concernant les panneaux CLT entrant dans la composition des caissons nervurés sont traités séparément en amont.

2.10. Mention des justificatifs

2.10.1.Résultats expérimentaux

[1] C. E. C. f. Standardization, «EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements,» CEN European Committee for Standardization, Brussles, 2013.

[2] C. E. C. f. Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, Brussles: CEN European Committee for Standardization, 2004.

[3] CSTB, «APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL18-234».

[4] Eurofins Expert Services Oy, «EUFI29-20000133-T1- CLASSIFICATION OF FIRE RESISTANCE IN ACCORDANCE WITH EN 13501-2:2016,» April 29, 2020.

[5] Eurofins Expert Services Oy, «EUFI29-20000133-T2- CLASSIFICATION OF FIRE RESISTANCE IN ACCORDANCE WITH EN 13501-2:2016,» April 29, 2020.

[6] Eurofins Expert Services Oy, «EUFI29-20000133-T4 - CLASSIFICATION OF FIRE RESISTANCE IN ACCORDANCE WITH EN 13501-2:2016,» April 29, 2020.

[7] Eurofins Expert Services Oy, «EUFI29-20000133-T3 - CLASSIFICATION OF FIRE RESISTANCE IN ACCORDANCE WITH EN 13501-2:2016,» April 29, 2020.

[8] Institute of Structural Engineering (IBK), ETH Zurich, «Fire design of CLT Rib Panels for the revision of the European Technical Assessment (ETA-17/0911),» ETH Zürich, Zürich, 13th October 2020.

[9] Eurofins Expert Services Oy, «Test report EUFI29-19002767-T1: Fire resistance test on a wooden floor construction (section A),» September 19, 2019.

[10] Eurofins Expert Services Oy, «Test report EUFI29-19002768-T1: Fire resistance test on a wooden floor construction made of CLT (section B),» September 26, 2019.

[11] Eurofins Expert Services Oy, «Test report EUFI29-19002770-T1: Fire resistance test on a wooden floor construction (section D),» October 3, 2019.

[12] Eurofins Expert Services Oy, «Test report EUFI29-19002771-T1: Fire resistance test on a wooden floor construction (section C),» October 10, 2019.

[13] CEN European Committee for Standardization, «EN 1363-1 2020 :02 Essais de résistance au feu - Partie 1 : exigences générales».

[14] CEN European Committee for Standardization, «EN 1365-2 :2014-12 Essais de résistance au feu des éléments porteurs - Partie 2 : planchers et toitures».

[15] «NF EN 1998-1 Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments».

[16] Bogensperger, Thomas, «focus_sts 2.2.3_1 Darstellung und praxistaugliche Aufbereitung für die Ermittlung mitwirkender Plattenbreiten von BSP-Elementen,» Holzbau Forschungs GmbH, Graz, 2013.

[17] holz.bau forschungs GmbH, «Research report- Recommendations regarding the design of CLT rib panels,» Graz, August 2020.

[18] Augustin, Manfred, «Report on the determination of the effective width and verification of rib panels for Stora Enso Timber Wood Products,» holz.bau forschungs GmbH, Graz, 2017.

[19] Austrian Standardization Institute, «ÖNORM B 1995-1-1 Annex K- Cross laminated timber (X-Lam),» 2016.

[20] OIB- Austrian Institute of Construction Engineering, «ETA-14/0349- CLT- Cross Laminated Timber by Stora Enso,» OIB-Austrian Institute of Construction Engineering, 06.04.2020.

[21] Univ.-Prof. Dr. Ing. Hans Joachim. Blaß, «Expert opinion_CLT - shear in CLT elements,» H.J. Blass, Karlsruhe, 2010.

[22] Thomas Bogensperger, Thomas Moosbrugger, Gregor Silly, «Verification of CLT-plates under loads in plane,» chez *WCTE 2010*, 2010.

[23] Richard Harris, Andreas Ringhofer, Gerhard Schickhofer, «COST Action FP1004-European Conference on Cross Laminated Timber (CLT),» Graz University of Technology, Austria, April 2014.

[24] P. H. &. A. Richter, «BEMESSUNGS- UND KONSTRUKTIONSREGELN ZUM SCHWINGUNGSNACHWEIS VON HOLZDECKEN,» Biberach, 2009.

[25] CEN European Committee for Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, Brussles: CEN European Committee for Standardization, 2004.

[26] R BRANDNER, G SCHICKHOFER, «Properties of Cross Laminated Timber (CLT) in Compression Perpendicular to Grain,» Graz University of Technology, Institute of Timber Engineering and Wood Technology 1), Competence Centre holz.bau forschungs gmbh 2), 2014.

[27] Austrian Standardization Institute, «ÖNORM B 1995-1-1:2015 "Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1: General – Common Rules and rules for buildings. National specifications for the implementation of ÖNORM EN 1995-1-1, national comments and national supplements",» Vienna.

[28] Empa Acoustics Laboratory, « Test report No. 5214019753-E : Measurement of Airborne and Impact Sound Insulation of a Cross-Laminated Timber floor with diverse floor coverings,» 2018.

[29] O. A. I. o. C. Engineering, ETA-14/0349 (02.10.2014) CLT - Cross Laminated Timber, Wien: OIB Austrian Institute of Construction, 2014.

[30] M. Augustin, «Report on the determination of the effective width and verification of rib panels for Stora Enso Timber Wood Products,» holz.bau forschungs GmbH, Graz, 2017.

[31] T. Bogensperger, «focus_sts 2.2.3_1 Darstellung und praxistaugliche Aufbereitung für die Ermittlung mitwirkender Plattenbreiten von BSP-Elementen,» Holzbau Forschungs GmbH, Graz, 2013.

[32] G. S. T. B. Gerhard Schickhofer, «Comparison of Methods of Approximate Verification Procedures for Cross Laminated Timber,» Graz, 2012.

[33] H. Blass, «787_Expert opinion_CLT - shear in CLT elements,» H.J. Blass, Karlsruhe, 2010.

[34] T. M. G. S. Thomas Bogensperger, «Verification of CLT-plates under loads in plane,» chez *WCTE 2010*, 2010.

[35] OIB- Austrian Institute of Construction Engineering, ETA-14/0349 (02.10.2014) CLT - Cross Laminated Timber, Wien: OIB Austrian Institute of Construction Engineering, 2014.

[36] CEN European Committee for Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, Brussles: CEN European Committee for Standardization, 2004.

[37] CEN European Committee for Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, Brussles: CEN European Committee for Standardization, 2004.

[38] CEN European Committee for Standardization, «EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements,» CEN European Committee for Standardization, Brussles, 2013.

[39] Stora Enso Wood Produts Oy Ltd, «Soundproofing of CLT Rib panels by Stora Enso,» 2019.

[40] Jockwer, Robert, «Structural behaviour of glued laminated timber beams with unreinforced and reinforced notches - Doctoral Thesis,» 2014.

[41] EVEA, «FICHE DE DECLARATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DU PRODUIT CLT Rib Panel (ferrures non prises en compte) par Stora Enso,» Octobre 2022.

[42] The International EPD® System, «Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025 and EN 15804 for: CLT Rib panel by Stora Enso,» 2021-02-10.

2.10.2.Références chantiers

- Immeuble de bureaux ANMV pour l'Agence Nationale du Médicament Vétérinaire, (Javané (35), France) ; Livraison en 2018
  Entreprise de construction : Les charpentiers de l'Atlantique
- Bâtiment industriel OSTRIA (Villebon sur Yvette (91), France) : 250 m² de plancher ; Livraison en 2019
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Maison individuelle, SCI SILAUNAY (Le Val-Saint-Germain (91), France) : 198m² de plancher et 100m² de toiture support de couverture ; Livraison en 2019

  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- ERP Maison de quartier (Chessy (77), France) : 108m² de toiture support d'étanchéité ; Livraison en 2019
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Bâtiment industriel (Villebon-sur-Yvette (91), France) : 80 m² de plancher ; Livraison en 2019

Entreprise de construction : Aux charpentiers de France

- Maison individuelle Salomon (Issy les Moulineaux (92), France) : 80 m² de plancher ; Livraison en 2020
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Lycée Henri Avril (Lamballe (22), France) : 128 m² de plancher ; Livraison en 2020
  Entreprise de construction : CCL
- Bâtiment industriel AMAC_H5 (Aéroport de Bale Mulhouse, Saint-Louis (68), France) : 530 m² de toiture support d'étanchéité ; Livraison en 2020
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Bâtiment de bureaux Wall-up (Aulnoy (77), France) : 80 m² de plancher ; Livraison en 2020
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Bâtiment public ERP, Espace de loisirs (Curley (21), France) : 165 m² de plancher ; Livraison en 2021
  Entreprise de construction : l'Art du toit
- Maison individuelle Salomon (Issy les Moulineaux (92), France) : 57 m² de plancher ; Livraison en 2021
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Maison individuelle Soulie (Vaugrigneuse (91), France) : 54 m² de plancher ; Livraison en 2021
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Bâtiment de bureaux Wonder building (Bagnolet (93), France) : 11 500 m² de plancher ; Livraison en 2020
  Entreprise de construction : Bouygues Batiment IdF
- Maison individuelle Girardot (Saint-Rémy-lès-Chevreuse (78), France) : 100 m² de toiture support d'étanchéité ; Livraison en 2022
  Entreprise de construction : MIOTERR
- Bâtiment industriel (Vercel-Villedieu-le-Camp (25), France) : 50 m² de plancher (quai de chargement) ; Livraison en 2022
  Entreprise de construction : ACDF INDUSTRIE
- Bâtiment public ERP, groupe scolaire OGEC Saint André (Choisy Le roy (94), France) : 243 m² de plancher ; Livraison en 2022
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Bâtiment public ERP, ISC (La Ville-du-Bois (91), France) : 251 m² de plancher ; Livraison en 2022
  Entreprise de construction : Aux charpentiers de France

Stora Enso met à disposition une librairie de références en ligne où tous les projets sont référencés et détaillés par type de bâtiment, produits, pays, partenaire, surface, volume et par année. Le site internet est le suivant :

https://references.buildingsolutions.storaenso.com

2.11. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre

2.11.1.Types d'appuis (complément)

- Par membrure CLT supérieure

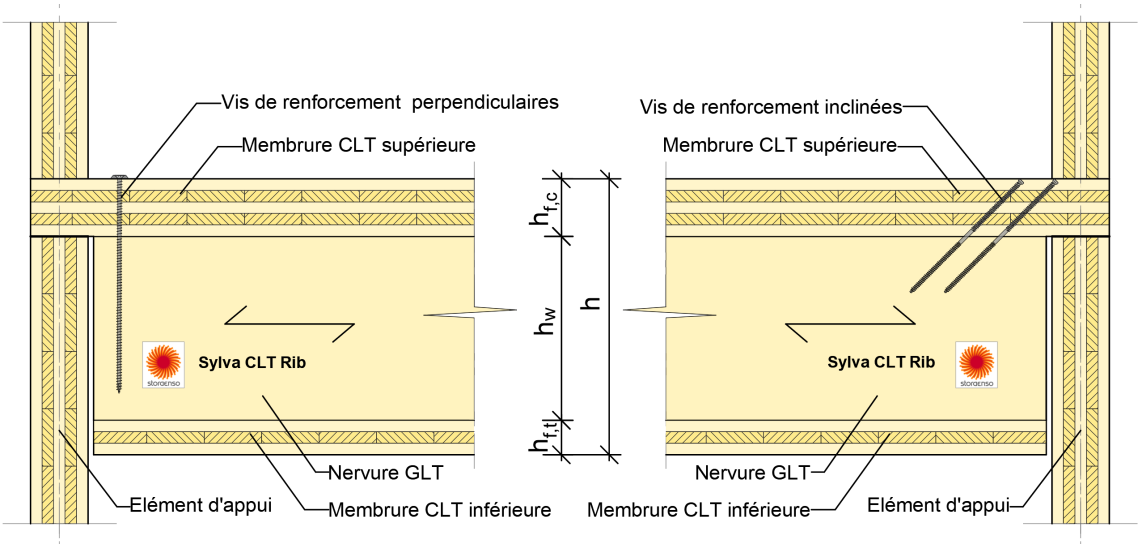


Figure 67 - Appui continu par la membrure supérieure avec renforcement par vis - Caisson nervuré fermé : (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

- Sur support bois

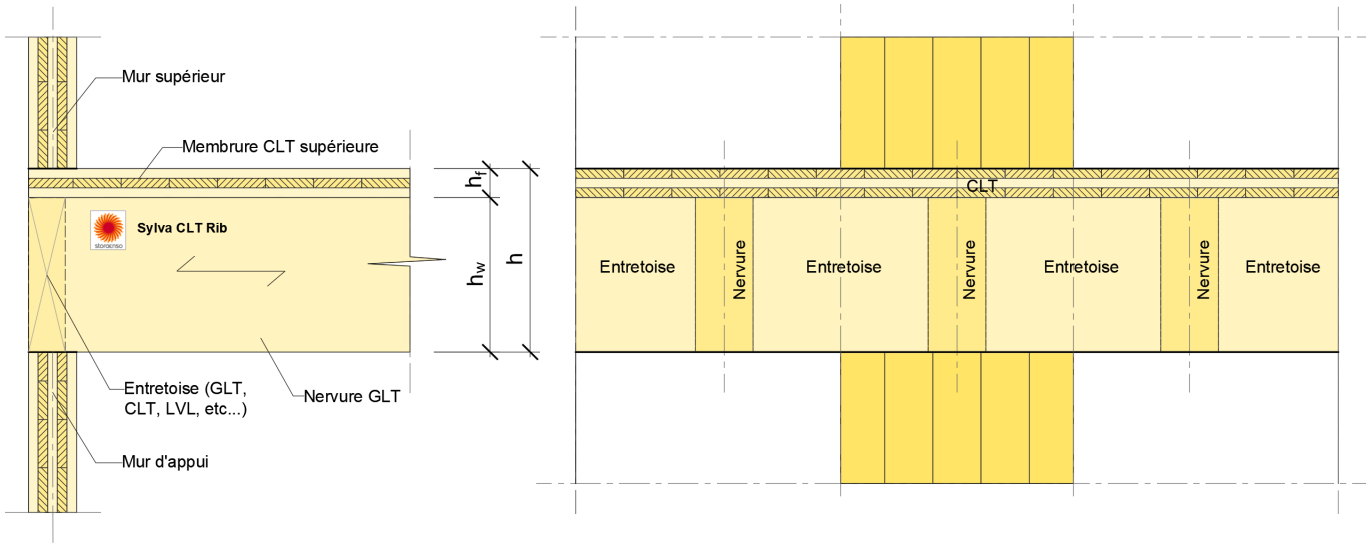


Figure 68 - Appui continu simple sur nervure avec entretoises (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

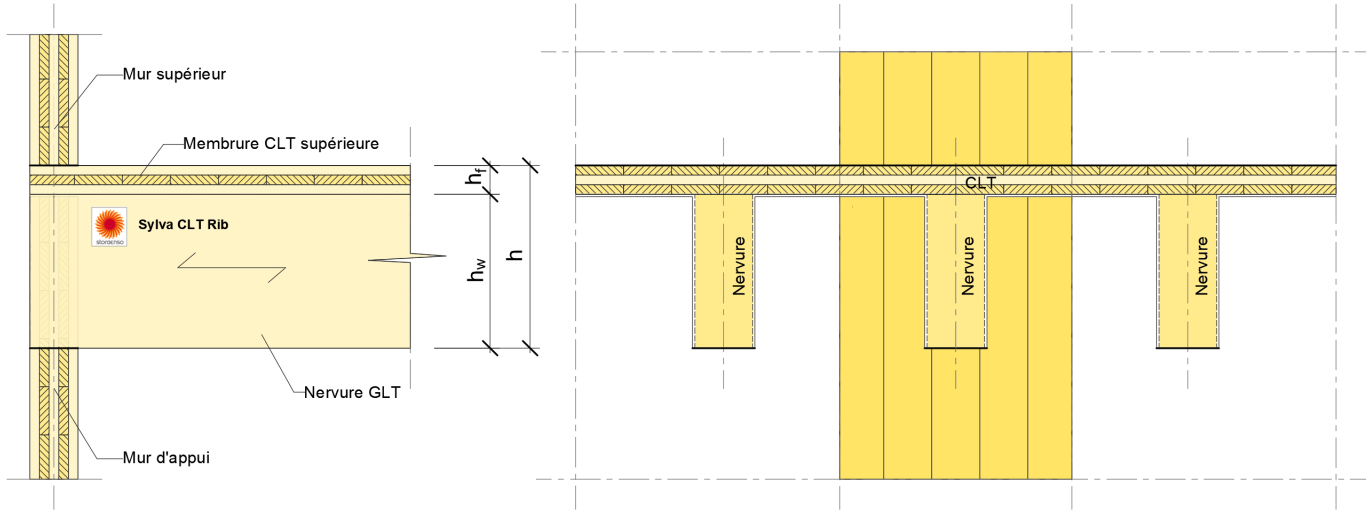


Figure 69 - Appui individuel simple par nervure (Jonction entre caisson et porteur non représentée)

Note : La charge verticale issue du plancher est transférée par les nervures directement aux appuis et la charge verticale linéique issue du mur supérieur au niveau des appuis et reprise par le mur inférieur, avec la membrure du caisson nervuré en compression perpendiculaire au fil.

Remarque : Afin d'éviter des contraintes de traction perpendiculaire au fil du bois et au joint de collage, il faut s'assurer que les nervures soient bien en contact direct avec le mur inférieur pour la reprise de la réaction d'appui du plancher. Il faut également vérifier que la membrure CLT supérieure ne soit pas chargée par des éléments situés en dessous (par exemple murs, entretoises, etc.) due à la rotation au niveau de l'appui et/ou au gonflement/retrait des éléments en bois dans l'exemple ci-dessus.

Note : l'élément d'appui représenté sur les figures ci-dessus est un mur CLT, mais d'autres types de support bois permettant de fixer mécaniquement les nervures ou la membrure au support peuvent être utilisés (poutre bois massif, LVL, GLT, etc.).

- Sur connecteur métallique

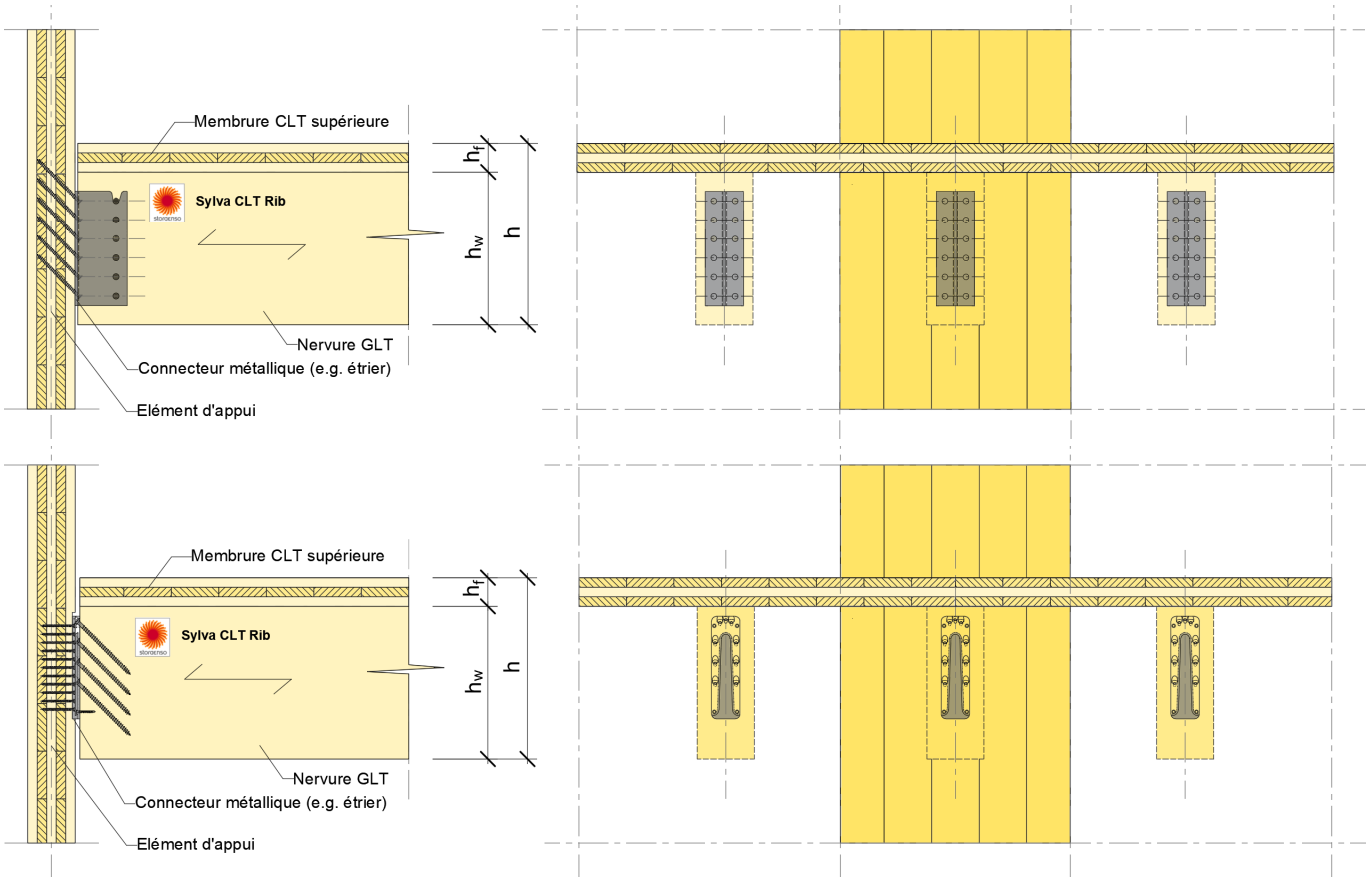


Figure 70 - Appui individuel avec connecteur métallique par nervure (e.g. étrier en âme intérieure ou étrier à queue d'aronde)

2.11.2.Détails constructifs

CLT RIB 1.

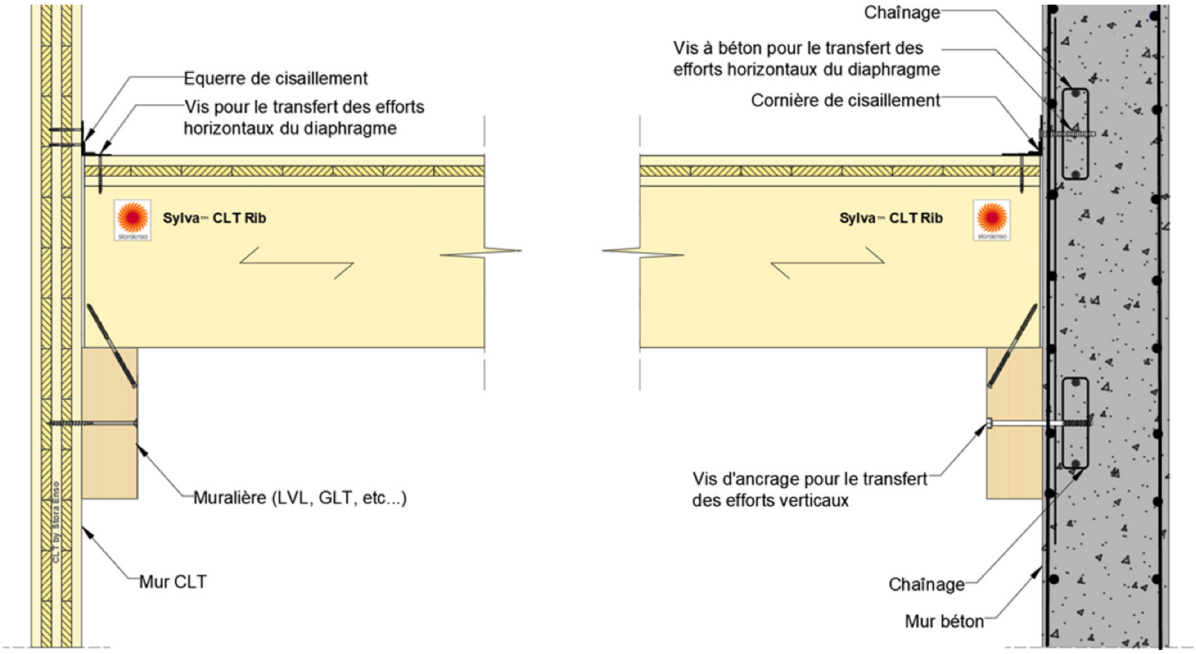


Figure 71: Exemple d'appui simple sur poutre muralière avec liaison sur mur CLT et mur béton – Caisson ouvert

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)

Les fixations dans le béton doivent faire l'objet d'une évaluation technique couvrant l'utilisation en situation sismique.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, ainsi que le FD P18-717.

CLT RIB 2.

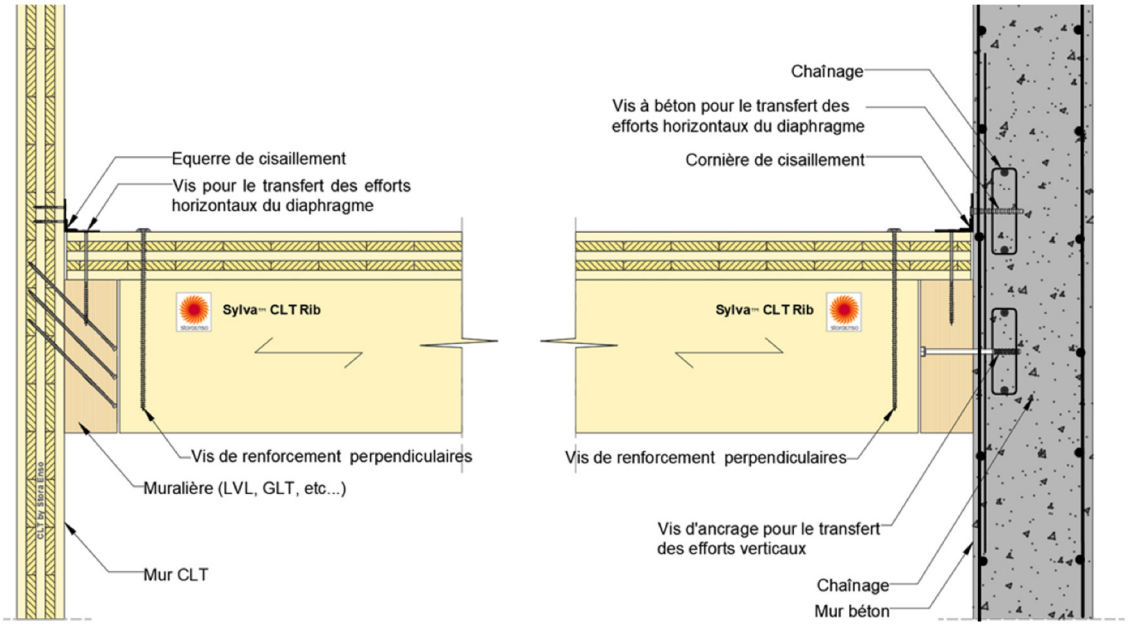


Figure 72 : Exemple d'appui par la membrure CLT supérieure sur poutre muralière en liaison sur mur CLT et mur béton – Caisson ouvert

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)

Les fixations dans le béton doivent faire l'objet d'une évaluation technique couvrant l'utilisation en situation sismique.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, ainsi que le FD P18-717.

CLT RIB 3.

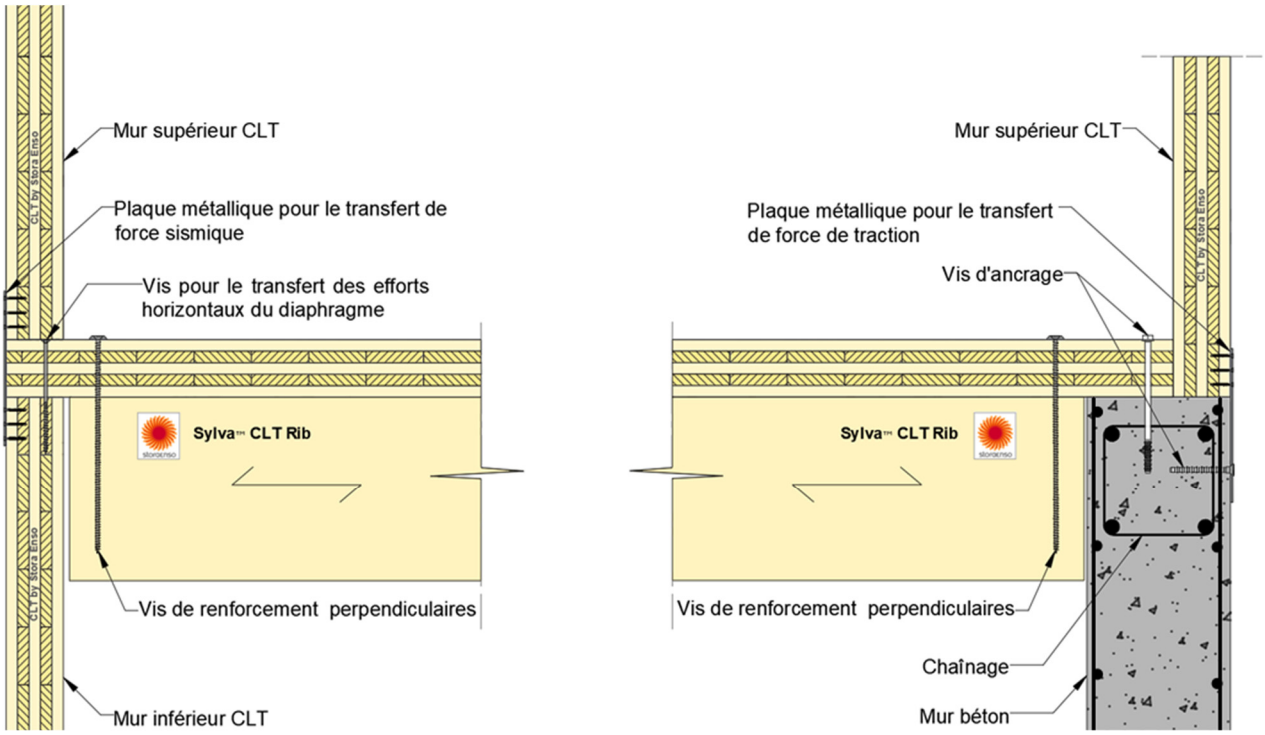


Figure 73: Exemple d'appui par la membrure CLT supérieure sur mur CLT et mur béton – Caisson ouvert

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)

Les fixations dans le béton doivent faire l'objet d'une évaluation technique couvrant l'utilisation en situation sismique.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, ainsi que le FD P18-717.

CLT RIB 4.

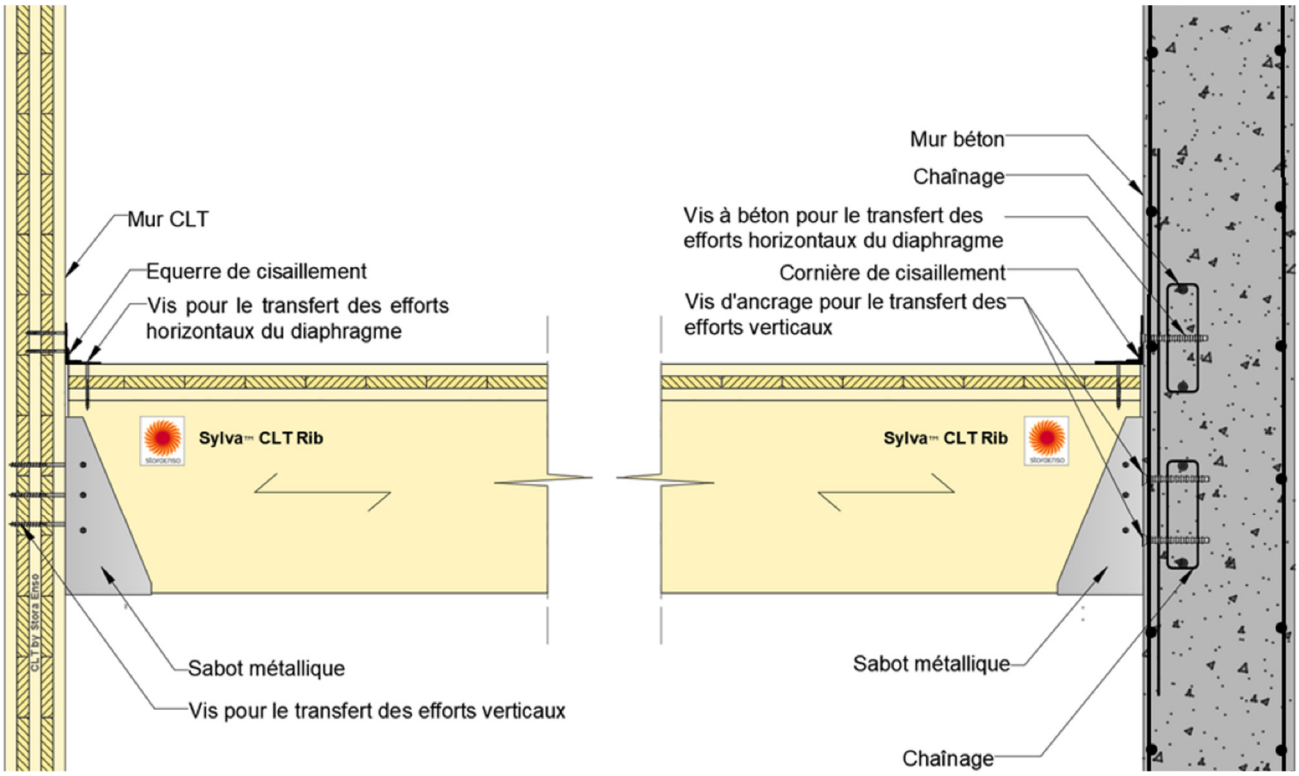


Figure 74: Exemple d'appui simple des nervures avec liaison sur mur CLT et mur béton par sabot métallique – Caisson ouvert

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

Les fixations dans le béton doivent faire l'objet d'une évaluation technique couvrant l'utilisation en situation sismique.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale, ainsi que le FD P18-717.

Note sur le cheminement des efforts dans le support béton en situation normale :

Les vis à béton au niveau de la cornière liaisonnant le panneau CLT au mur béton en partie supérieure reprennent les efforts liés à la stabilité (efforts horizontaux). Lors d'une sollicitation horizontale dans le plan du voile béton, les vis à béton vont transmettre un effort vertical et horizontal. L'effort horizontal est traduit par une composante à 45° sous forme de bielle qui s'épaule sur le chainage en vis-à-vis de la muralière. Sa résultante s'ajoute alors à l'effort transmis par les fixations de la muralière. La somme est équilibrée par l'appui du voile.

Seules les vis d'ancrage et la poutre muralière (ou sabot métallique) supportant le caisson nervuré reprennent les efforts verticaux provenant du plancher. A noter suivant le moment généré par l'excentrement, la vis d'ancrage sera plus ou moins sollicitée en traction, un ferraillage permet d'éviter la rupture sous forme de cône de béton.

Cette hypothèse est valable dans le cas où la rigidité combinée au niveau de l'assemblage supportant le caisson nervuré (vis nervure – muralière (ou connecteur métallique)+ vis d'ancrage) est beaucoup plus faible que la rigidité combinée au niveau de l'assemblage liaisonnant le panneau CLT au mur béton en partie supérieure (vis CLT – cornière + vis béton). (L'entraxe des vis d'ancrage inférieures est bien plus grand par rapport à l'entraxe des vis à béton supérieures au niveau du diaphragme).

Les détails présentés dans ces figures d'annexe ne sont pas exhaustives. La disposition et le dimensionnement des ferraillages permettant de reprendre les efforts verticaux et horizontaux en bout de diaphragme doivent être étudiés par un bureau d'études d'exécution béton.

CLT RIB 5.

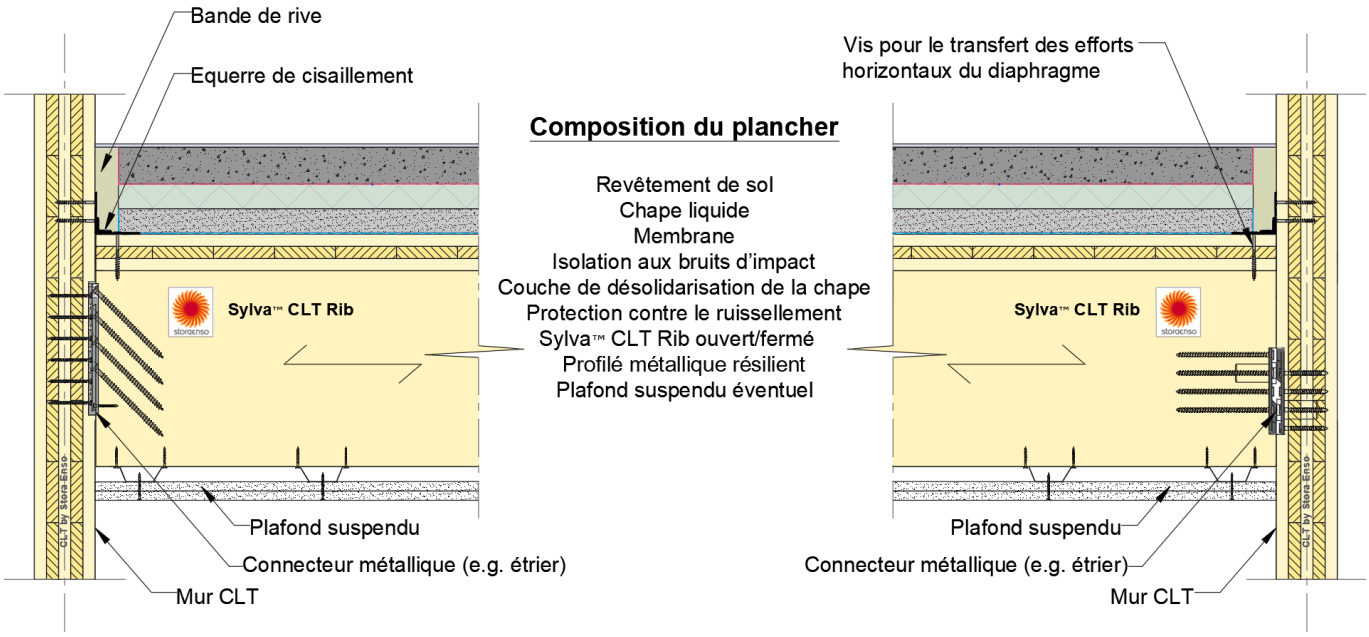


Figure 75: Exemple de complexe de plancher en appui individuel sur mur CLT avec connecteur métallique par nervure (e.g. étrier à queue d'aronde) – Caisson ouvert/fermé

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)

CLT RIB 6.

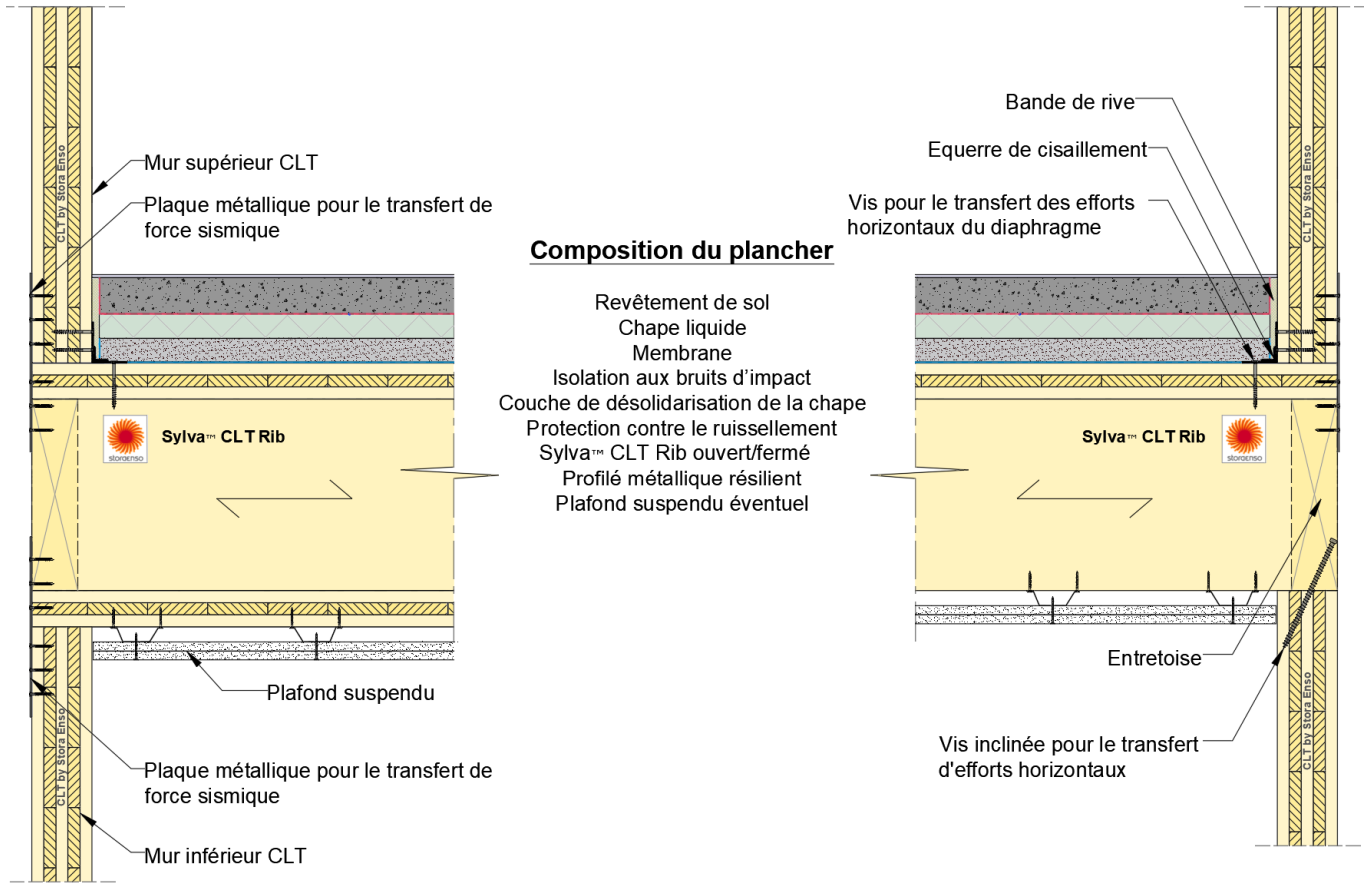


Figure 76: Exemple de complexe de plancher en appui simple sur mur CLT – Caisson ouvert/fermé

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)

CLT RIB 7.

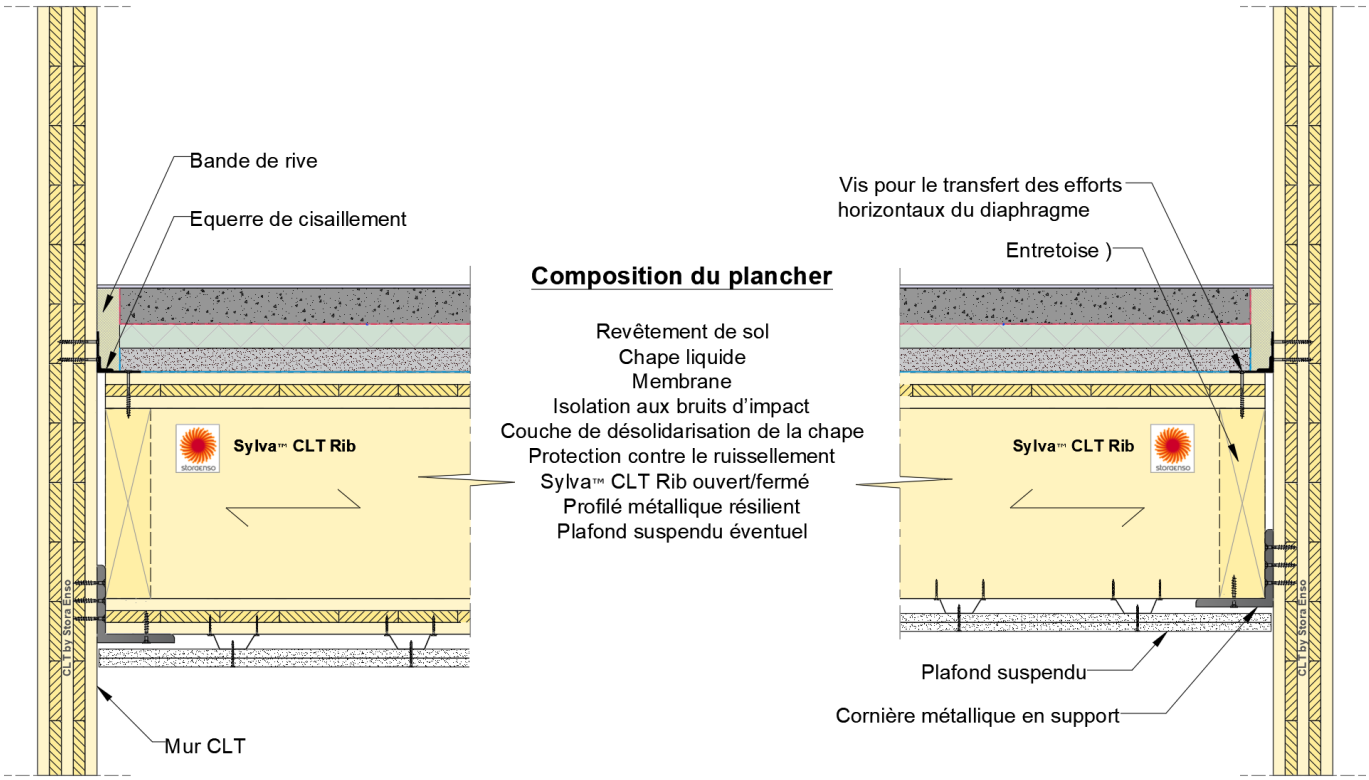


Figure 77 : Exemple de complexe de plancher en appui simple avec liaison sur mur CLT par cornière métallique – Caisson ouvert/fermé

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)

CLT RIB 8.

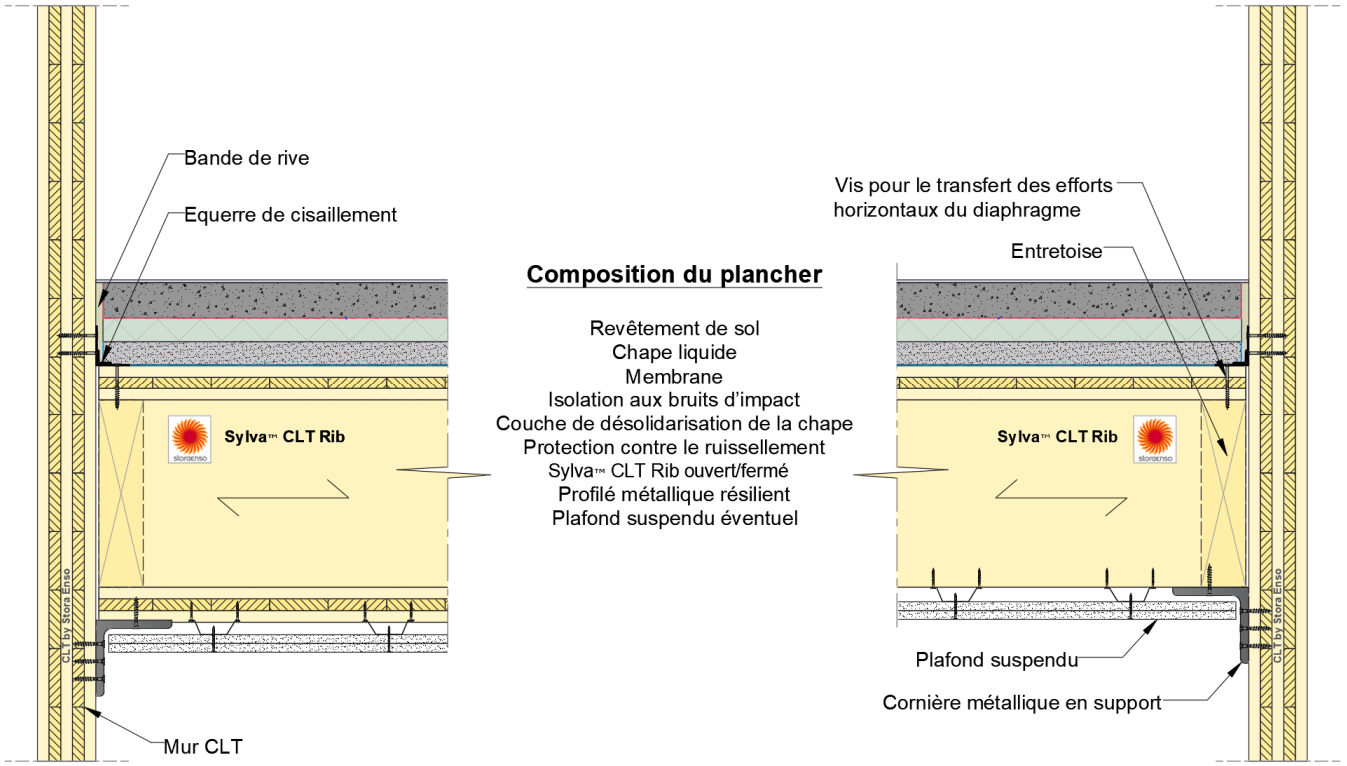


Figure 78: Exemple de complexe de plancher en appui simple avec liaison sur mur CLT par cornière métallique inversée – Caisson ouvert/fermé

Note : le caisson nervuré inversé est également possible dans cette configuration sous condition qu'un platelage soit disposé sur le dessus des nervures. Dans le cas où le caisson nervuré doit présenter une résistance au feu, la cornière métallique en support devra être protégée en adéquation avec les contraintes d'incendie. (Utilisable en situation sismique)

CLT RIB 9.

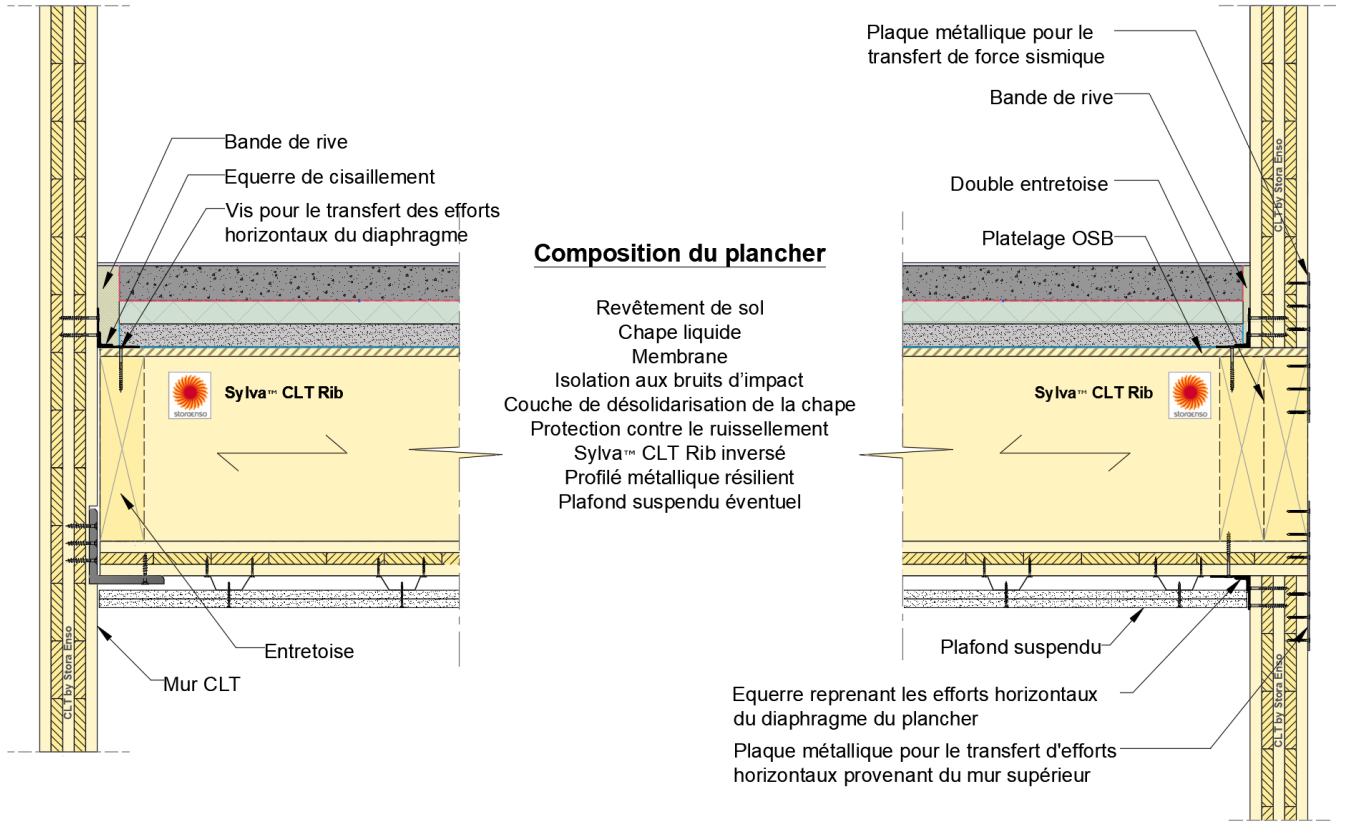


Figure 79: Exemple de complexe de plancher en appui simple avec liaison sur mur CLT et par cornière métallique – Caisson inversé

Note : Une double entretoise peut parfois être nécessaire, en fonction de la largeur disponible pour fixer le connecteur de cisaillement (e.g. équerre). (Utilisable en situation sismique)

CLT RIB 10.

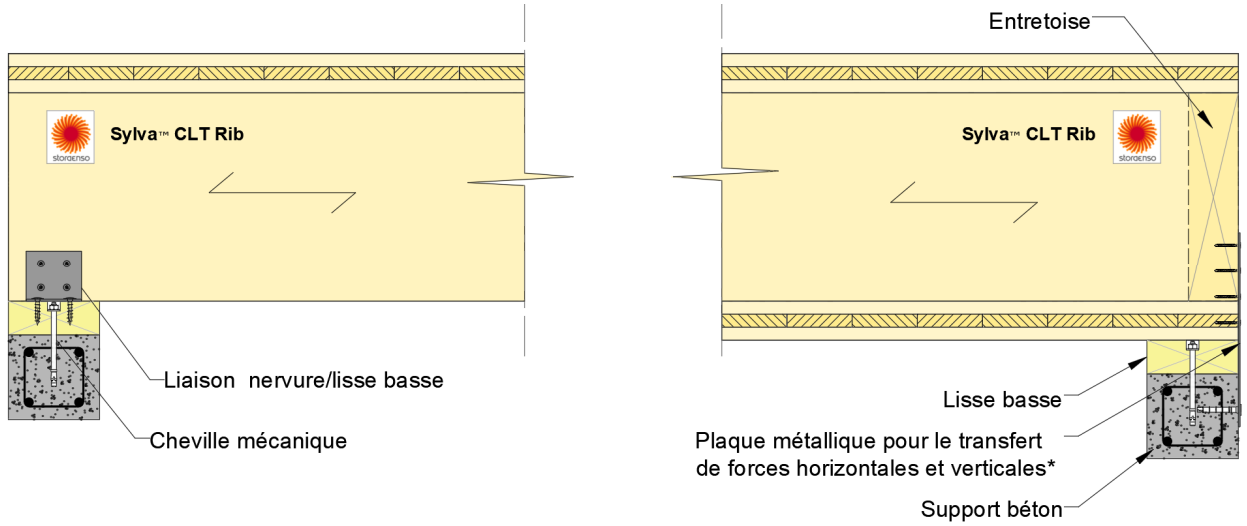


Figure 80: Sylva CLT Rib sur support béton (utilisable en situation sismique) – Caisson ouvert/fermé

Note* : Plaque reprenant les efforts de soulèvement et horizontaux (vent et sismique). (Utilisable en situation sismique)

2.11.3.Vissage direct des deux nervures de bord

Cet assemblage est réalisé par vissage direct des deux nervures de bord. Des vis d'assemblage à filetage partiel ou à filetage total ou à double filetage sont utilisées et doivent être calculées pour reprendre les efforts de cisaillement induits par le contreventement du bâtiment et liés au pianotage de deux caissons nervurés adjacents (Figure 81).

Cette configuration d'assemblage est réalisable uniquement pour les caissons à nervures alignées (non déportées) et n'est pas possible pour les caissons fermés.

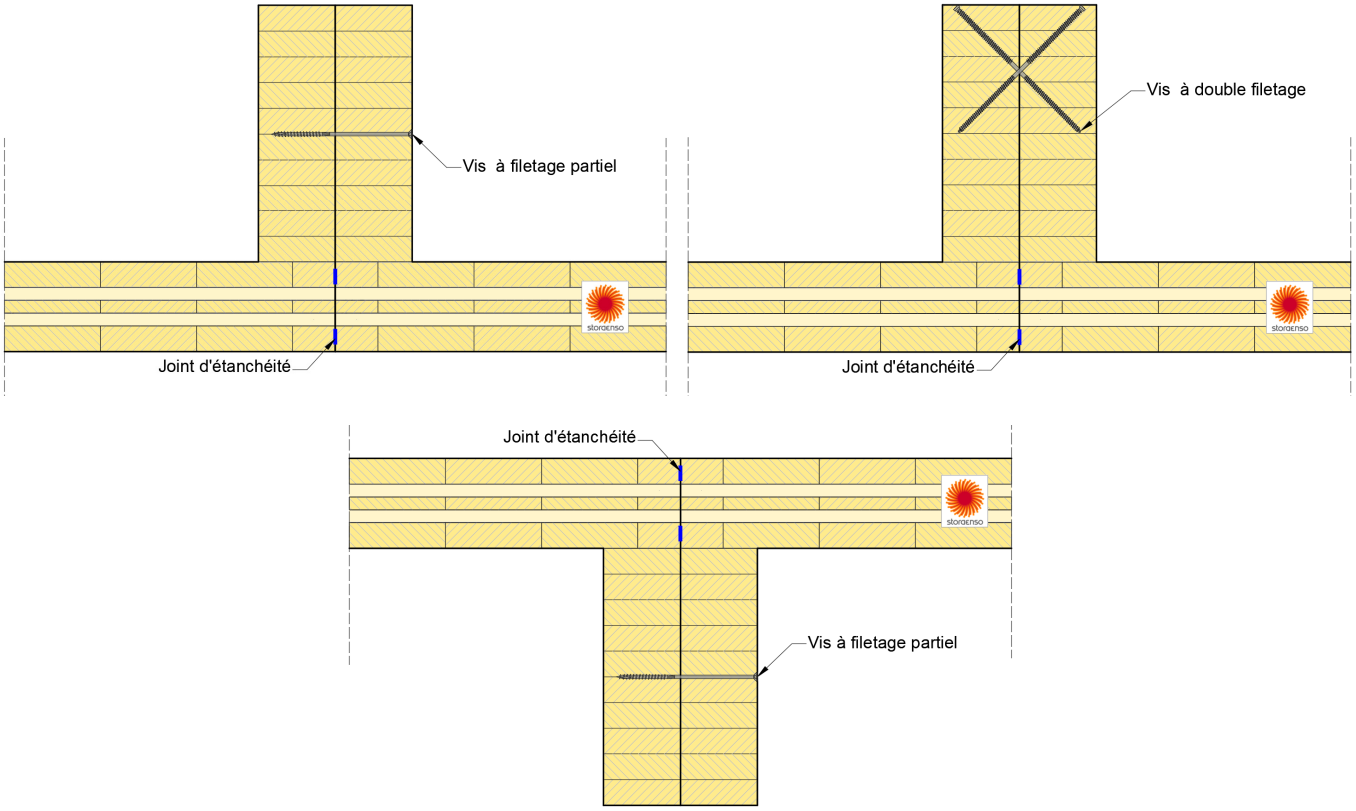


Figure 81 : Assemblage direct des nervures de bord par vis droites et en diagonales (non utilisable en situation sismique) – Caisson ouvert/inversé

Dans le cas des caissons inversés, les charges sont appliquées sur la partie supérieure des nervures uniquement.

2.11.4.Dispositions relatives aux revêtements intérieurs

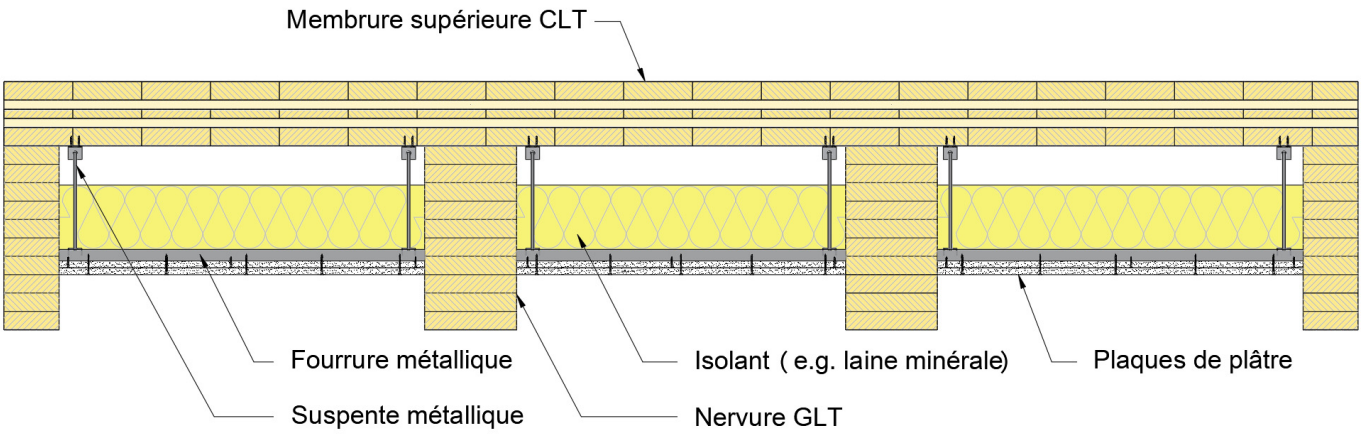


Figure 82: Exemple de mise en œuvre d'un plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec sous-plafond entre nervures

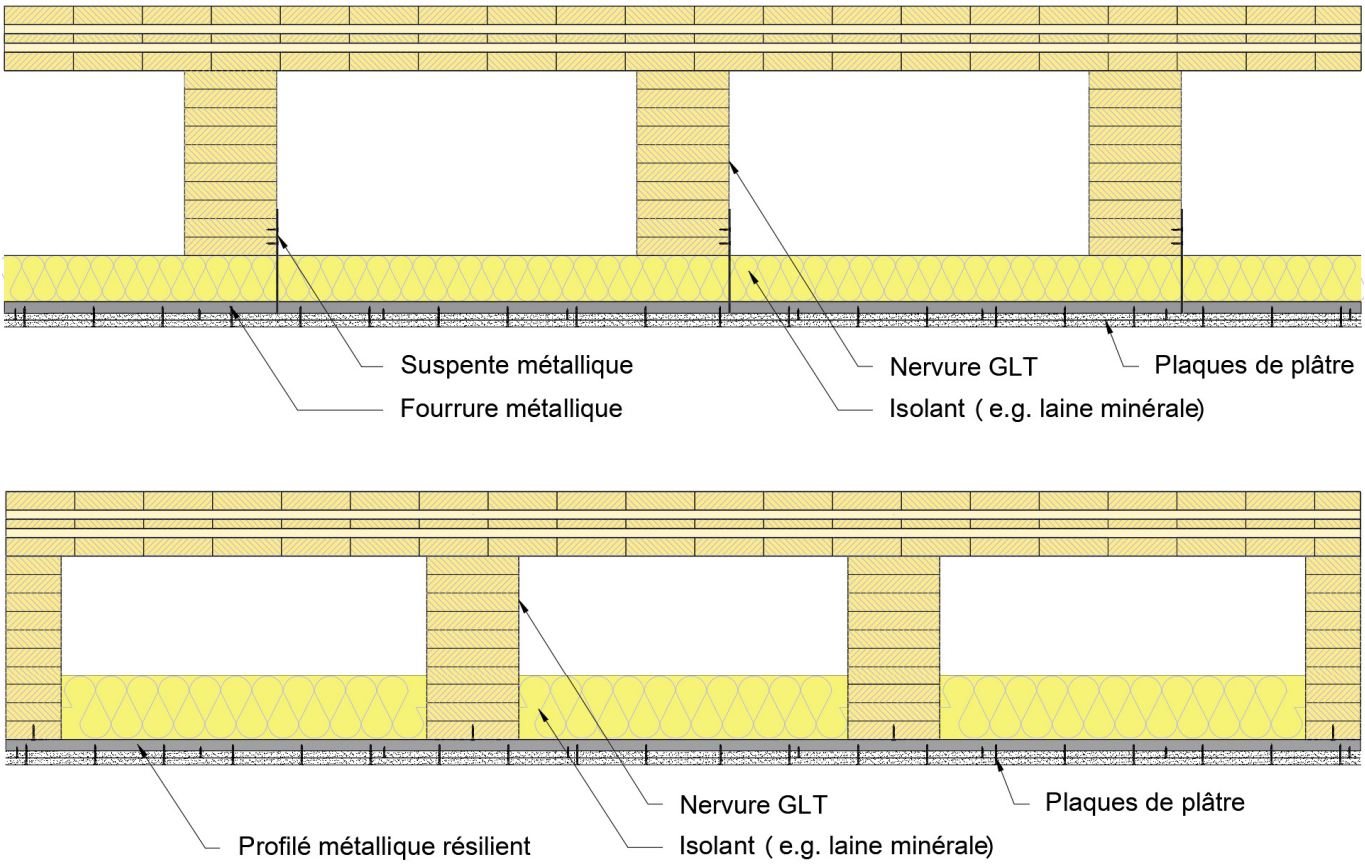
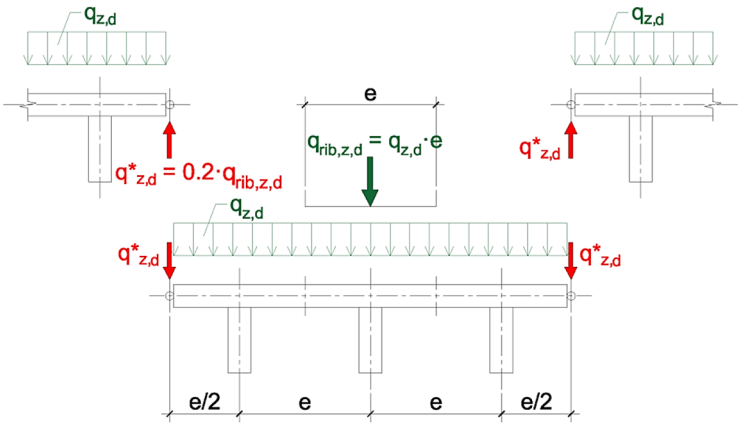


Figure 83: Exemple de mise en œuvre d'un plancher en caisson nervuré Sylva™ CLT Rib avec sous-plafond sous les nervures

2.11.5.Force de calcul verticale au niveau du joint longitudinal dans le cas de nervure de rive déportée



Example :

$e = 800\ mm$

Actions :

$\gamma_G = 1.35$ | $\gamma_Q = 1.50$ | $G_k = 2.00\ kN/m^2$ | $P_k = 3.00\ kN/m^2$

Elément 1:

$E_{d,1} = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot P_k = 1.35 \cdot 2.00 + 1.50 \cdot 3.00 = 7.20\ kN/m^2$

Elément 2:

$E_{d,2} = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot P_k = 1.35 \cdot 2.00 + 1.50 \cdot 0 = 2.70\ kN/m^2$

L'analyse est réalisée sur une bande de 1,00m avec un modèle structurel à une direction (1-D). Les nervures sont simulées par des ressorts avec une raideur en milieu de travée. Les assemblages des joints longitudinaux sont modélisés comme des rotules (Figure 84).

Raideur des appuis (au niveau des nervures) dans le sens transversal :

$k = \frac{1}{w} = \frac{48 \cdot EI}{"1" \cdot l^3}\ [kN/m/m]$

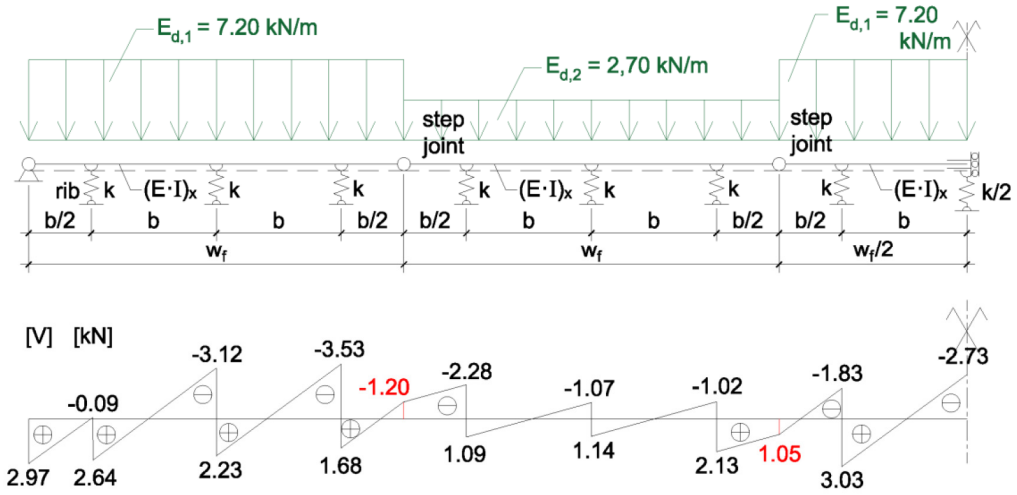


Figure 84: Modèle d'analyse et distribution des forces verticales en coupe transversale.

Dans l'exemple, la force de cisaillement (maximum) au niveau du joint longitudinal rotulé entre membrure est de $V_{x,d}$ = 1.20kN/m.

En suivant la règle donnée précédemment au § 2.3.10.3 du présent dossier technique, la force verticale linéique à prendre en compte dans le dimensionnement du joint longitudinal est :

$q_{z,d}{}^* = 20\% \cdot (E_{d,1} \cdot e) = 0.20 \cdot (7.20 \cdot 0.80) = 1.15\ kN/m$

Déformations entre les caissons nervurés supportés sur trois et deux côtés respectivement :

Les éléments situés au début et à la fin en rive (de chaque côté) d'un système de plancher sont généralement supportés sur 3 côtés (une rive et extrémités), tandis que les éléments adjacents (au milieu) ne sont supportés que sur 2 côtés à leur extrémité. En raison de la différence de rigidité des éléments, une différence de déformation entre les deux éléments se produit. Pour éviter un écart entre les deux éléments, ils doivent être assemblés par des connecteurs appropriés.

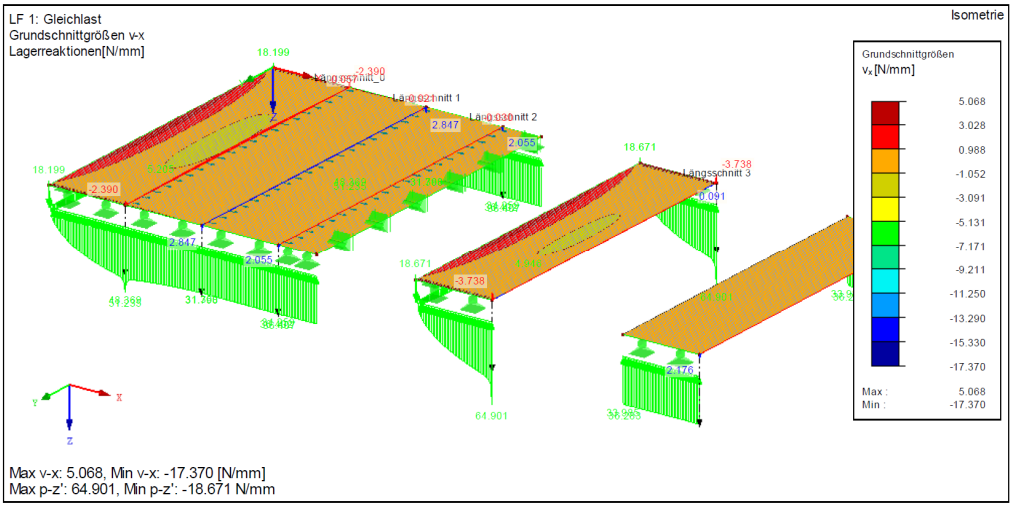


Figure 85 : Efforts tranchants Vx du système de caissons nervurés couplés avec des rotules au niveau des joints longitudinaux ; premier caisson nervuré supporté sur 3 côtés et caisson nervuré intérieur supporté sur 2 côtés.

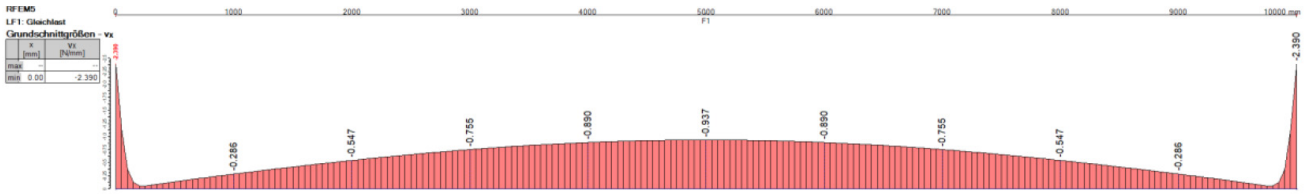


Figure 86 : Distribution de l'effort tranchant Vx dans le premier joint longitudinal rotulé (Vx max = 0.937kN/m)

Résultat :

Selon l'analyse aux éléments finis réalisé pour cet exemple, l'effort tranchant maximal dans le premier joint longitudinal est $V_x = q_d{}^* = 0.937\ kN/m$.

En suivant la règle donnée précédemment au § 2.3.10.3 du présent dossier technique, la force verticale linéique à prendre en compte dans le dimensionnement du joint longitudinal est :

$q_{z,d}{}^* = 20\% \cdot \left(E_{d,1} \cdot e\right) = 0.20 \cdot (7.20 \cdot 0.80) = 1.15\ kN/m$

Spécifications comparables :

En plus des arguments déjà mentionnés, un regard sur les spécifications des autres matériaux de construction comme le béton est opportun.

Par exemple : Règle pour les dalles pleines uni-directionnelles et bi-directionnelles dans la norme EN 1992-1-1.

Extrait de la norme EN 1992-1-1, Clause 9.3.1.1 (2) : « Il convient de prévoir, dans les dalles uni-directionnelles, des armatures transversales secondaires représentant au moins 20 % des armatures principales ». C'est un domaine d'application comparable à celui spécifié pour les dalles béton pleine dans le sens transversal. La règle proposée permet une estimation pragmatique, simple et rapide de la force verticale dans l'articulation du joint longitudinal.

***Note :** Les forces verticales dans le joint longitudinal rotulé sont approximativement distribuées suivant une courbe sinusoïdale et la valeur prise en compte est la valeur maximum située à la mi-portée du joint longitudinal. Il est donc recommandé comme décrit § 2.3.10.3 du présent dossier technique, de définir la force verticale à transférer par les connecteurs métalliques du joint longitudinal entre caissons à 20% de la charge reprise par nervure.*

Bon à Fermer – Fiche d'autocontrôle avant mise en œuvre des revêtements

L'émission d'un bon à fermer signifie que pour les zones concernées par le bon, l'humidité du bois est comprise dans une plage permettant de débuter les travaux de second œuvre sans qu'il n'y ait un risque de confinement d'une humidité excessive et l'état de surface des éléments formant support satisfait aux tolérances attendues.

Informations Générales du Chantier

Coordonnées : (nom, adresse)	…… …… …… ……
Donneur d'ordre :	…… …… …… ……..
Maître d'œuvre :	…… …… …… ……
Autres informations :	…… …… …… ……

Zone(s) concernée(s)

Etage :	…… …… …… ……
Partie concernée :	Structure / Mur / Plancher / Autre (préciser) : …… …… …… ……

Contrôle dimensionnel

Date et heure du contrôle :	…… …… …… ……
Contrôle effectué par : (Nom, Prénom, Société)	…… …… …… …… …… …… …… ……
Planéité et désaffleurement :	…… …… …… ……
Largeur des joints entre panneaux :	…… …… …… ……
Continuité au droit des appuis :	…… …… …… ……

Rappel de l'intervalle acceptable :

- Planéité et désaffleurement : imposés par le référentiel de la chape ou du revêtement de sol ou, à défaut, ceux du DTU 51.3. En cas de reprise de désaffleurement, un ponçage 5 mm au plus pourra être réalisé à l'aide d'une ponceuse par le charpentier. (Rappeler les valeurs exactes de l'ouvrage concerné)

• Largeur des joints entre panneaux : la vérification de la largeur de joint devra être réalisée et consignée par le charpentier avant la mise en place des bandes adhésives. Si l'ouverture du joint entre panneaux est inférieure à 2 mm, il n'est pas nécessaire de traiter les joints. Lorsque l'ouverture des joints est supérieure à 2 mm sans dépasser 10 mm, ceux-ci doivent être remplis de mastics souples compatibles avec les éléments bois et doivent être affleurés. La mise en œuvre de ce mastic sera réalisée par le charpentier ; • Continuité au droit des appuis : la rotation sur appui induit une ouverture entre deux panneaux inférieurs à 2 mm. Lorsqu'elle est nécessaire pour le revêtement de sol, la continuité peut être réalisée par la mise en place d'une jonction par languette si le panneau support n'est pas continu sur appuis.
Conformité : …… ……
Rappel de l'intervalle acceptable : Les résultats obtenus devront être de 15±3% si la structure a été dimensionnée en classe de service 2 et de 12±2% si la structure a été dimensionnée en classe de service 1. (Rappeler les valeurs exactes de l'ouvrage concerné)
Contrôle de l'Humidité à l'aide d'un humidimètre à pointe
Date et heure du contrôle : …… ……
Contrôle effectué par : …… (Nom, Prénom, Société) ……
Nombre de points de contrôle : …… ……
Emplacement des points de contrôle : …… (joindre plan annoté) ……
Valeurs obtenues (en %) : …… ……
Conformité : …… ……
Fait à Le Nom prénom responsable Signature du responsable + cachet entreprise (Précédés de la mention « Bon pour fermeture »)

Tableau 13 - Fiche d'autocontrôle avant mise en œuvre des revêtements « Bon à fermer »