

Sur le procédé

## CLT Rib Panel

**Titulaire :** Société **STORA ENSO WOOD PRODUCTS OY LTD**  
Internet : [www.clt.info](http://www.clt.info)

### **Descripteur :**

Les panneaux CLT RIB PANEL 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. Le tout est assemblé au moyen d'un collage réalisé en usine et assuré par vissage.

Les panneaux CLT RIB PANEL peuvent être ouvert (en T), inversé (en T inversé) ou complètement fermé (en I).

Les panneaux CLT RIB PANEL sont destinés à la réalisation de planchers.

Les panneaux ont les dimensions suivantes :

- Longueur suivant la gamme de CLT ;
- Largeur jusqu'à 2,95 m comportant jusqu'à 5 nervures ;
- Epaisseur suivant la gamme de CLT.

Les panneaux CLT RIB PANEL peuvent contenir de l'isolation thermique et acoustique entre leurs nervures.

Les vis présentes sur les panneaux CLT RIB PANEL n'ont pas de rôle structural et ne sont utilisés que pour assurer la pression d'encollage lors de la fabrication.

**Groupe Spécialisé n° 3.1 - Planchers et accessoires de plancher**

**Famille de produit/Procédé :** Planchers à caissons en bois

## AVANT-PROPOS

Les Avis Techniques et les Documents Techniques d'Application sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction des éléments d'appréciation sur la façon de concevoir et de construire des ouvrages au moyen de produits ou procédés de construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Au terme d'une évaluation collective, l'avis technique de la commission se prononce sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés relativement aux exigences réglementaires et d'usage auxquelles l'ouvrage à construire doit normalement satisfaire.

## Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	Ajout d'un nouveau site de fabrication.	Etienne PRAT	Roseline BERNARDIN-EZLAN

## Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé .....	4
1.1.	Définition succincte.....	4
1.1.1.	Description succincte .....	4
1.1.2.	Mise sur le marché.....	4
1.1.3.	Identification.....	4
1.2.	AVIS .....	4
1.2.1.	Domaine d'emploi accepté .....	4
1.2.2.	Appréciation sur le produit, composant ou procédé .....	5
1.2.3.	Prescriptions Techniques .....	7
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé.....	9
1.4.	Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé .....	11
1.4.1.	Dimensionnement des planchers .....	11
2.	Dossier Technique.....	15
2.1.	Données commerciales.....	15
2.1.1.	Coordonnées.....	15
2.2.	Description .....	15
2.2.1.	Principe et domaine d'emploi .....	15
2.2.2.	Identification et marquage.....	15
2.2.3.	Description des matériaux .....	15
2.2.4.	Description des caissons.....	16
2.2.5.	Fabrication et contrôle.....	18
2.2.6.	Dimensionnement.....	21
2.2.7.	Etats limites de services .....	22
2.2.8.	Vides /ouvertures dans la nervure en lamellé-collé .....	27
2.2.9.	Vides (trémies) dans le panneau CLT .....	30
2.2.10.	Propriétés de la section transversale .....	30
2.2.11.	Dimensionnement aux états limites ultimes – Combinaisons de charges .....	35
2.2.12.	Résistance en flexion .....	36
2.2.13.	Résistance au cisaillement .....	39
2.2.14.	Dimensionnement des appuis simples avec entretoises .....	49
2.2.15.	Appuis avec nervures supportées individuellement ou par joints mécaniques .....	55
2.2.16.	Dispositions générales relatives aux chantiers .....	56
2.2.17.	Assistance technique.....	57
2.3.	Résultats expérimentaux .....	57
2.4.	Références.....	57
2.4.1.	Données Environnementales .....	57
2.4.2.	Autres références .....	58
2.5.	Annexes du Dossier Technique .....	59
2.6.	Annexe 1 au dossier technique .....	72
2.7.	Annexe 2 au dossier technique .....	74

# 1. Avis du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n° 3.1 - Planchers et accessoires de plancher de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 24 novembre 2020, le procédé **CLT RIB PANEL**, présenté par la Société STORA ENSO WOOD PRODUCTS OY LTD. Il a formulé, sur ce procédé, le Document Technique d'Application ci-après. L'avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

---

## 1.1. Définition succincte

### 1.1.1. Description succincte

Les panneaux CLT RIB PANEL 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. Le tout est assemblé au moyen d'un collage réalisé en usine et assuré par vissage.

Les panneaux CLT RIB PANEL peuvent être ouvert (en T), inversé (en T inversé) ou complètement fermé (en I).

Les panneaux CLT RIB PANEL sont destinés à la réalisation de planchers.

Les panneaux ont les dimensions suivantes :

- Longueur suivant la gamme de CLT ;
- Largeur jusqu'à 2,95 m comportant jusqu'à 5 nervures ;
- Epaisseur suivant la gamme de CLT.

Les panneaux CLT RIB PANEL peuvent contenir de l'isolation thermique et acoustique entre leurs nervures.

Les vis présentes sur les panneaux CLT RIB PANEL n'ont pas de rôle structural et ne sont utilisés que pour assurer la pression d'encollage lors de la fabrication.

### 1.1.2. 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-17/0911.

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

### 1.1.3. Identification

Les éléments CLT RIB PANEL 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 ;
- La référence du caisson (N° de position, type de caisson, épaisseur de panneaux, dimensions des nervures) ;
- Lieu de fabrication.

---

## 1.2. AVIS

L'avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique joint, dans les conditions fixées aux Prescriptions Techniques (1.2.3).

### 1.2.1. Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi proposé (§1.2.1 de la description) est accepté par le Groupe Spécialisé n°3.1, à savoir les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1<sup>ère</sup> à la 3<sup>ème</sup> 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 réglementation 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 qui le constitue.

Le procédé CLT RIB PANEL 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.

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, C5, D1 et E2 au sens de la norme NF EN 1991-1-1 dans la limite des hypothèses suivantes et pour des charges ponctuelles limitées à 5 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.

Le présent Avis Technique ne vise pas les cas suivants :

- Cloisons lourdes (masse > 250 kg/ml) parallèles au sens de portée des panneaux CLT RIB PANEL ;
- Charges ponctuelles d'intensité supérieure à 500 daN ;

- Panneaux CLT RIB PANEL 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. 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 ;
- Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent Avis ;
- L'Avis n'est valable que si la température n'excède pas 40°C en service continu au niveau du plan de collage (pour la situation d'incendie se rapporter au §1.2.2.1) ;
- L'utilisation en tant que plancher intermédiaire sur volume non-chauffé ou sur vide sanitaire n'est pas visée par le présent Avis Technique.

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.

Les procédés CLT RIB PANEL traités par des produits d'ignifugation ne sont pas visés par le présent Avis.

L'aptitude au lavage des éléments CLT RIB PANEL n'est pas visée par le présent Avis.

Les ouvrages enterrés en CLT RIB PANEL sont exclus du domaine d'emploi.

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

L'utilisation en porte-à-faux n'est pas visée par le présent Avis.

## 1.2.2. Appréciation sur le produit, composant ou procédé

### 1.2.2.1. Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

#### Stabilité

La résistance et la stabilité du procédé sont normalement assurées dans le domaine d'emploi accepté sous réserve des dispositions complémentaires données aux Prescriptions Techniques (§1.2.3 ci-après et Annexe 1).

#### 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 panneaux CLT RIB PANEL 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.

Les réservations dans les nervures ne sont pas autorisées pour les panneaux ouverts sans écran de protection constituant un plénum et dont les performances sont décrites dans l'Appréciation de laboratoire de résistance au feu.

##### Réaction au feu

Les éléments CLT RIB PANEL bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2,d0 selon la norme NF EN 13501-1. 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 panneau 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. La périphérie des baies est protégée conformément aux prescriptions de l'IT 249.

Dans les bâtiments pour lesquels il existe une exigence C+D, les dispositions constructives doivent répondre aux exigences de l'IT 249 et du guide *Bois construction et propagation du feu par les façades V3.1 daté du 07/12/2020*.

#### Pose en zone sismique

Les panneaux CLT RIB PANEL peuvent satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées aux Prescriptions Techniques.

#### 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 panneaux CLT RIB PANEL, doit être assurée au moyen d'un étaieage 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 panneaux CLT RIB PANEL impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

#### Isolation thermique

Les panneaux CLT RIB PANEL 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  $C_p = 1600 J/kg.K$ , 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  $\leq 500kg/m^3$ .

Les performances thermiques des panneaux CLT RIB PANEL dépendent des performances thermiques des isolants rajoutés aux complexes. Les panneaux CLT RIB PANEL 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).

### Isolation acoustique

Les panneaux CLT RIB PANEL 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.

L'efficacité du complexe ainsi constitué vis-à-vis de l'isolation acoustique dépend de la conception particulière du plafond et de sa suspension. Cette efficacité peut être jugée soit à partir d'essais après s'être assuré que la fréquence de résonance de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté est inférieure à 60 Hz.

Cette fréquence peut être calculée par la formule

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

Avec :

- $f_0$  = la fréquence de résonance en Hz,
- $m_1$  = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plancher brut,
- $m_2$  = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plafond rapporté,
- $K$  = le coefficient de raideur dynamique du dispositif de suspension du plafond ; il s'exprime en  $N/m$  et il correspond au rapport de la force, en  $N$ , à appliquer, au déplacement qui en résulte pour le dispositif de suspension, déplacement exprimé en mètres ( $m$ ).

Ce coefficient  $K$  doit être rapporté à 1 m<sup>2</sup> de plancher. Dans le cas particulier d'utilisation de suspentes très courtes et rigides, réalisées en fers plats fixés sur les faces latérales des poutres en bois (voir NF DTU 25.41 « Ouvrages en plaques de parement en plâtre »), on ne peut pas connaître avec précision le coefficient de raideur dynamique  $K$ , ni de ce fait, la fréquence de résonance  $f_0$ . Dans ce cas, seul un essai permet de déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté.

Le respect des exigences réglementaires devra être justifié par une évaluation acoustique.

### Étanchéité à l'eau et à l'air

Les panneaux CLT RIB PANEL 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.

### Données environnementales

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

### 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'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

#### 1.2.2.2. Durabilité - Entretien

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les CLT RIB PANEL 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 §1.2.3.1.6 des prescriptions techniques.

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 panneaux CLT RIB PANEL répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données aux Prescriptions Techniques.

#### 1.2.2.3. Fabrication et contrôle

La fabrication des panneaux CLT RIB PANEL est assurée exclusivement par les sociétés STORA ENSO Wood Products sur le site de Ybbs an der Donau en Autriche et ACDF Industrie sur le site de Vercel Villedieu le Camp en France.

Le contrôle de qualité s'opère en particulier au travers du prélèvement de carottes au niveau des plans de collage.

Le suivi de la production est effectué dans le cadre des procédures internes d'autocontrôle et fait l'objet d'un contrôle externe au moins deux fois par an par les organismes Holzforschung Austria et CSTB.

### 1.2.3. Prescriptions Techniques

#### 1.2.3.1. Conditions de conception et de calcul

La conception et le calcul des panneaux CLT RIB PANEL 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.

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 panneaux CLT RIB PANEL en respect des prescriptions techniques particulières du présent Avis et des normes en vigueur.

#### 1.2.3.1.1. Vérifications en phase définitive des panneaux CLT RIB PANEL

Les vérifications de la résistance sous l'effet du moment fléchissant et de l'effort tranchant peuvent être menées comme dit au §2.2.12 et 2.2.13 du Dossier Technique établi par le Demandeur, 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 §2.2.7 du Dossier Technique établi par le Demandeur. 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 panneaux CLT RIB PANEL 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 §2.2.13 du Dossier Technique établi par le Demandeur) ;
- 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 flèche finale ne pourra excéder  $L/250$  où  $L$  est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux CLT RIB PANEL.

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder  $L/300$  où  $L$  est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux CLT RIB PANEL.

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des panneaux CLT RIB PANEL les valeurs suivantes :

Pour les planchers, la flèche active, pouvant nuire aux revêtements de sols rigides, ne doit pas dépasser :

- Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- Soit  $L/500$  de la portée si celle-ci est  $\leq 7,0$  m ; ou  $0,7 \text{ cm} + L/1\ 000$  de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m, sinon.

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- Soit  $L/350$  de la portée si celle-ci est  $\leq 7,0$  m ;
- Soit  $1 \text{ cm} + L/700$  de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.

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, étanchéité, ...). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

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.

#### 1.2.3.1.2. Transmission des charges des éléments porteurs horizontaux à leurs appuis

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon le §2.2.14 du Dossier Technique Etabli par le Demandeur.

#### 1.2.3.1.3. Conception des assemblages et des liaisons

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux CLT RIB PANEL entre eux ou des panneaux CLT RIB PANEL 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 panneaux doivent être réalisées avec des éléments permettant la reprise des efforts de traction transversale (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 2.2.15 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 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 30 cm maximum ;
- Le pianotage entre caissons CLT RIB PANEL 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 ferrailage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1.

#### **1.2.3.1.4. Perçage et réservations dans les panneaux CLT RIB PANEL**

*Perçage dans les nervures des panneaux CLT RIB PANEL*

Le perçage et les traversées des nervures des panneaux CLT RIB PANEL sont définis au paragraphe 2.2.8 du Dossier Technique.

*Réservations et ouvertures dans les panneaux CLT RIB PANEL (trémies)*

La réalisation d'ouverture dans les planchers sont autorisés dans les limites décrites dans le §2.2.9 du Dossier Technique.

Dans le cas de trémie importante (avec interruption des nervures), le report des charges des chevêtres sur la nervure adjacente doit être limité après combinaison à 500 daN.

#### **1.2.3.1.5. Utilisation en zone sismique**

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux CLT RIB PANEL doit être menée en suivant le principe de comportement de structure faiblement dissipatif (Classe de ductilité L) conformément à NF EN 1998-1-1 (cf. §8.1.3 et §8.6 (2)P). Les effets des actions sont calculés sur la base de 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. Le spectre de calcul est déterminé à partir du spectre en appliquant un coefficient de comportement  $q=1,5$  pour la classe DCL.

Les critères de régularité en plan de la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §4.2.3) doivent être strictement respectés et faire l'objet d'une vérification.

Les coefficients de conversion correspondant à une classe de durée de chargement instantanée sont appliqués.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux CLT RIB PANEL utilisés sont organisés afin d'observer les points suivants :

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- 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 déterminée ;
- 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 à 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.

#### **1.2.3.1.6. Traitement de préservation**

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du caisson CLT RIB PANEL 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 panneaux CLT RIB PANEL 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. 133-5. 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.

#### **1.2.3.1.7. Dispositions constructives générales**

Lorsque les panneaux CLT RIB PANEL 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 panneaux CLT RIB PANEL sont utilisés pour la réalisation de bâtiments n'entrant pas dans le domaine d'application des différents DTU (par exemple éléments CLT RIB PANEL 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 panneaux CLT RIB PANEL 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 CLT RIB PANEL.

Les vides et les ouvertures dans les nervures en lamellé-collé des panneaux CLT RIB PANEL 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  $k_{cr} = 0,67$ .

Aucun percement des nervures n'est autorisé sur chantier.

### 1.2.3.2. Conditions de fabrication

La fabrication des panneaux CLT RIB PANEL faisant appel au collage à usage structural, elle nécessite un contrôle permanent des différents paramètres conditionnant la réalisation d'un collage fiable (température, humidité, temps de pressage, pression de collage, etc.).

Le suivi de la production est effectué :

Dans le cadre d'une procédure interne d'autocontrôle dont les étapes sont indiquées dans le §2.2.5.4 du Dossier Technique. Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les planches d'une part et panneaux CLT RIB PANEL 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 pour les planches de bois ;
- Le taux d'humidité nominal des panneaux CLT et des nervures avant assemblage est fixé à 12%  $\pm$ 2%. Une procédure doit définir les contrôles, leur fréquence et leur enregistrement ;
- Le contrôle réalisé afin de s'assurer du bon encollage et du bon pressage conformément au Contrôle de Production en Usine ;
- Le contrôle visuel sur chaque élément fini.

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.

La conformité des performances du caisson CLT RIB PANEL doit être vérifiée dans le cadre d'une procédure de contrôle externe réalisée par un organisme externe définie au §2.2.5.4 (valeur de résistance en cisaillement des plans de collage notamment).

La synthèse de ce contrôle externe doit être transmise une fois par an au CSTB.

### 1.2.3.3. Conditions de mise en œuvre

#### 1.2.3.3.1. Sollicitations perpendiculaires au sens porteur du panneau

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.

#### 1.2.3.3.2. Manutention et stabilité provisoire

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 panneaux CLT RIB PANEL livrés sur chantier.

Les éléments de levage ne sont pas visés par cet avis technique.

Les éléments CLT RIB PANEL devront être protégés des intempéries lors des phases transitoires.

Les conditions de stockage des panneaux devront respectées les prescriptions du §2.2.16 du Dossier Technique.

#### 1.2.3.3.3. Plans d'exécution

Le bureau d'études devra fournir les plans d'exécution détaillés comprenant le calepinage et le sens des panneaux CLT RIB PANEL, les types et détails des ancrages et chaînages et autres détails (traitement des ouvertures, etc...).

### 1.2.3.4. Finitions

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.

### *Appréciation globale*

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 1.2.1) est appréciée favorablement.

## 1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le présent DTA est formulé sur la base de l'ETA-17/0911 daté du 13/09/2020, 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 du 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 du 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.

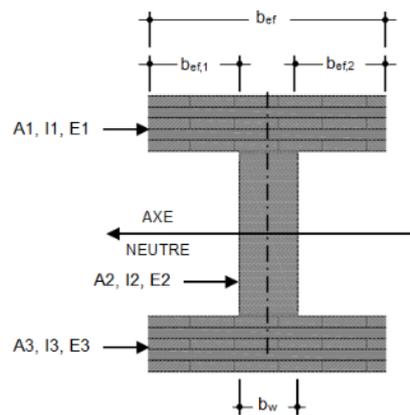
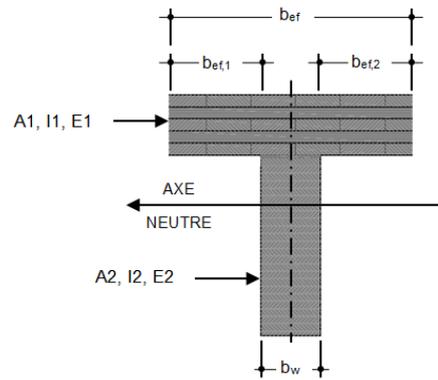
## 1.4. Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé

La présente annexe fait partie de l'Avis Technique : le respect des prescriptions indiquées est une condition impérative de la validité de l'avis.

### 1.4.1. Dimensionnement des planchers

#### 1.4.1.1. Données

Figure 1-1 Section partielle d'un panneau CLT RIB PANEL



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	$G_{j,mean}$
Coefficient de sécurité matériau	$\gamma_m$
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 panneaux CLT RIB PANEL 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 panneaux CLT RIB PANEL, utilisés comme planchers porteurs, sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. §2.2.9 du dossier technique). Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients  $k_{mod}$  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 tableau 2.3 au §2.2.6 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).

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

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) :

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

- 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 panneaux CLT RIB PANEL.

##### 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 tableau 2.3 au §2.2.6 du Dossier Technique.

##### 1.4.1.5.4. Vérifications flèche totale – absolue

La flèche finale ne pourra excéder  $L/250$  en travée où  $L$  est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux CLT RIB PANEL.

##### 1.4.1.5.5. Vérifications flèche instantanée

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder  $L/300$  en travée où  $L$  est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux CLT RIB PANEL.

##### 1.4.1.5.6. Vérifications flèche active

Les valeurs limites de flèche fournies par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale sont à respecter. Cependant, une attention toute particulière doit être apportée aux grandes déformations.

Elles doivent être déterminées de manière constructive, pour ne pas nuire ainsi aux revêtements de sols rigides et à l'aspect visuel de la sous-face, notamment dans le cas d'une sous-face ajourée.

Les critères de flèche doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux CLT RIB PANEL.

Pour les planchers, la flèche active, pouvant nuire aux revêtements de sols rigides, ne doit pas dépasser :

- Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible.
- Soit  $L/500$  de la portée si celle-ci est  $\leq$  à 7,0 m ; ou  $0,7 \text{ cm} + L/1000$  de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- Soit  $L/350$  de la portée si celle-ci est  $\leq$  7, 0 m.
- Soit  $1 \text{ cm} + L/700$  de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.

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, étanchéité, ...). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

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.

#### 1.4.1.6. Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontales

Dans les bâtiments comportant des planchers en panneaux CLT RIB PANEL, 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 chaînage en tête de mur.

## 2. Dossier Technique

Issu du dossier établi par le titulaire

---

### 2.1. Données commerciales

#### 2.1.1. Coordonnées

Titulaire : Société STORA ENSO WOOD PRODUCTS OY LTD  
 1 Kanavaranta  
 FI – 00101 HELSINKI  
 Tél. : 43 7412 53033 4310  
 Email : clt.info@storaenso.com  
 Internet : www.clt.info

---

### 2.2. Description

#### 2.2.1. Principe et domaine d'emploi

Les caissons « CLT rib panel by Stora Enso » sont des produits de structure fabriqués en usine. Il est composé d'un panneau CLT by Stora Enso (Cross Laminated Timber) sous Avis Technique et de nervures en bois lamellé-collé conformes à la norme NF EN 14080. Le panneau et la nervure sont collés l'un à l'autre via une pression qui est appliquée par vissage et collage. La technologie employée est donc celle du collage structural. Les vis utilisées sont sous ETE.

Les caissons « CLT rib panel by Stora Enso » sont destinés à la réalisation des ouvrages de structure pour des bâtiments industriels, bâtiments de bureaux, bâtiments d'habitation jusqu'à la famille 3b, ou Etablissement Recevant du Public de catégorie 1 à 5. Ils peuvent être utilisés pour la réalisation de travaux de réhabilitation ou en neuf. Le domaine d'emploi est une utilisation en planchers (plancher porteur, séparatif de logement).

Les caissons « CLT rib panel by Stora Enso » sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de l'EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004) et en classe d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

Les caissons « CLT rib panel by Stora Enso » peuvent être utilisés dans toutes les zones de neige et de vent, et en zone sismique 1 à 4.

#### 2.2.2. Identification et marquage

En sortie de chaîne de production et après les contrôles exécutés, les caissons sont étiquetés avec le marquage CE et les informations prévues par l'Evaluation Technique Européenne ETA 17/0911.

- Le logo Stora Enso ;
- Le numéro du certificat de constance des performances du marquage CE ;
- Le numéro de l'Agrément Technique Européen ;
- Les deux derniers chiffres de l'année où le marquage CE a été apposé ;
- Les essences de bois utilisées ;
- La référence du caisson (N° de position, type de caisson, épaisseur de panneaux, dimensions des nervures) ;
- Lieu de fabrication.

#### 2.2.3. Description des matériaux

##### 2.2.3.1. Panneaux

Les panneaux CLT utilisés sont les panneaux CLT Stora Enso en accord avec l'Avis Technique du procédé « Stora Enso CLT » en cours de validité et l'ETA-14/0349 (Engineering, 2014).

Tous les panneaux CLT couverts par l'ETA sont des éléments valides pour l'application caisson nervuré CLT Rib Panel.

##### 2.2.3.1.1. Type d'essences utilisées

Les planches en bois utilisées pour la réalisation des panneaux Stora Enso CLT sont en épicéa, sapin, pin et certifiées PEFC par l'organisme « Holzcert Austria ». Selon l'essence utilisée, les valeurs des résistances mécaniques retenues peuvent être différentes.

##### 2.2.3.1.2. Caractéristiques géométriques des planches

Les planches utilisées peuvent avoir une épaisseur allant de 14 à 45 mm et une largeur allant de 40 à 300 mm (Voir tableau – Dimensions et structure constitutive des panneaux CLT Stora Enso).

L'écart d'épaisseur, considéré sur la largeur de la section de la lamelle, doit être inférieur à 0,15 % de la largeur et il ne doit par ailleurs en aucun cas dépasser 0,3 mm (EN 386).

Ces caractéristiques sont données pour un taux d'humidité de 12±2%.

##### 2.2.3.1.3. Caractéristiques mécaniques des planches

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

Les combinaisons usuelles sont :

- 90% C24 – 10% C16
- 90% C30 – 10% C24

(Voir tableau - Dimensions et structure de construction des panneaux en bois massif)

### 2.2.3.2. Nervures

Les nervures sont réalisées en bois lamellé-collé marqué CE, en accord avec la norme EN 14080 (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013). La géométrie d'une nervure est de forme rectangulaire avec une hauteur minimale de 100 mm, et une largeur minimale de 60 mm.

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

Seules les classes mécaniques GL 20h à GL 32h et GL 20c à GL 32c sont autorisées.

### 2.2.3.3. Colles

Les colles utilisées ne contiennent pas de formaldéhydes et sont conformes aux normes NF EN 301, NF EN 302 et NF EN 15425. Les colles utilisées lors de la production (pour l'encollage des surfaces et des assemblages à entures) sont de type I selon la NF EN 301, ce qui permet un usage structural des panneaux pour les classes de service 1 et 2 suivant la NF EN 1995-1-1.

#### 2.2.3.3.1. Colle pour l'assemblage des nervures au panneau

La colle 1K-PUR de la société PURBOND (de la PURBOND HB S049 à la PURBOND HB S709 en accord avec l'évaluation allemande DIBt Z-9.1-833) est utilisée pour la liaison entre le panneau et les nervures du caisson. Cette colle est formulée à base de résine polyuréthane :

- Quantité : 160g/m<sup>2</sup> (±20g/m<sup>2</sup>) ;
- Température du bois : >20°C ;
- Taux d'humidité : >8 % ; différence du taux d'humidité entre le CLT et la nervure doit être <4%.

### 2.2.3.4. Vis d'assemblage entre caissons adjacents

Les vis utilisées pour l'assemblage des CLT Rib Panel adjacents sont à filetage total ou à double filetage et doivent être couvertes par une ETE. (Voir détails en partie 13.513 Connexion d'un caisson nervuré à une structure adjacente).

## 2.2.4. Description des caissons

### 2.2.4.1. Géométrie

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

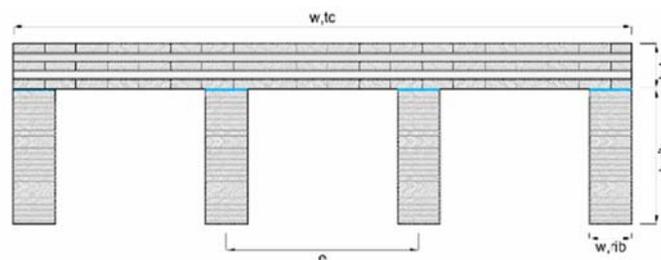
- En largeur jusqu'à 2,95 m ;
- En longueur jusqu'à 16,00 m.

La composition des plis est en accord avec l'ETA 14/0349 et l'épaisseur des panneaux est comprise entre 60 mm et 200mm.

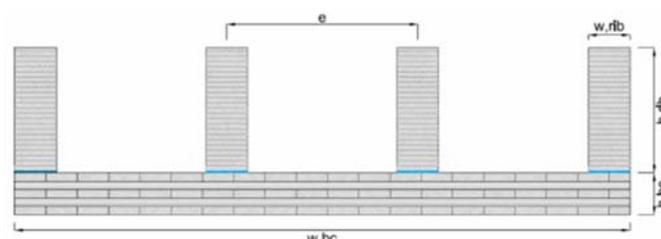
Par ailleurs, les plis extérieurs du panneau CLT doivent avoir le même sens de fil que les nervures en lamellé-collé. C'est-à-dire qu'ils doivent être orientés dans la même direction.

Trois types de caissons sont possibles :

**Figure 2-1 : CLT rib panel – CLT au-dessus des nervures  
Caisson ouvert (open type)**

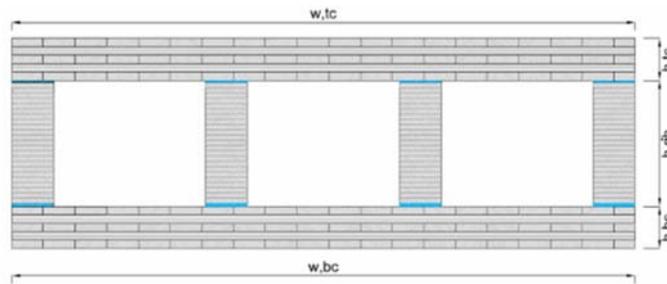


**Figure 2-2 : CLT rib panel – CLT au-dessous des nervures - Caisson inversé (Inverted type)**



Dans le cas des caissons inversés correspondant à la figure 2-2, les charges sont appliquées sur la partie supérieure des nervures uniquement.

**Figure 2-3: CLT box panel - CLT au-dessus et au-dessous des nervures - Caisson fermé (Closed type)**

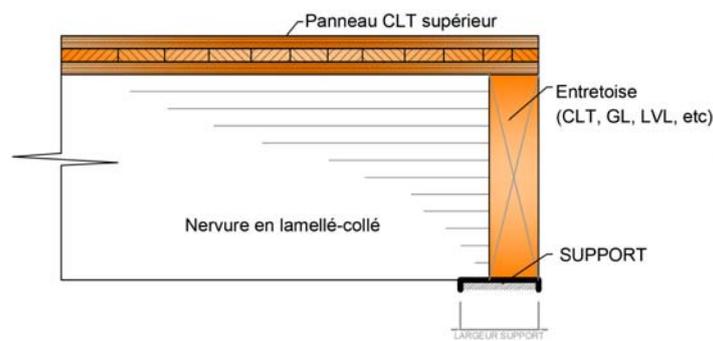


2.2.4.2. Types de support

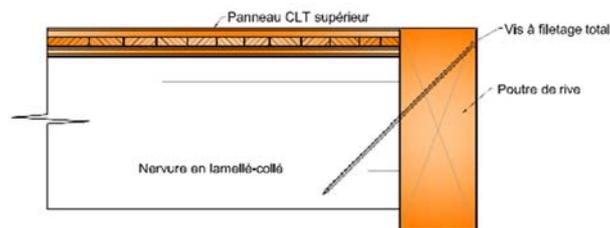
Les caissons CLT Rib Panel peuvent être utilisés avec les supports suivants :

**Figure 2-4: Types de support de base**

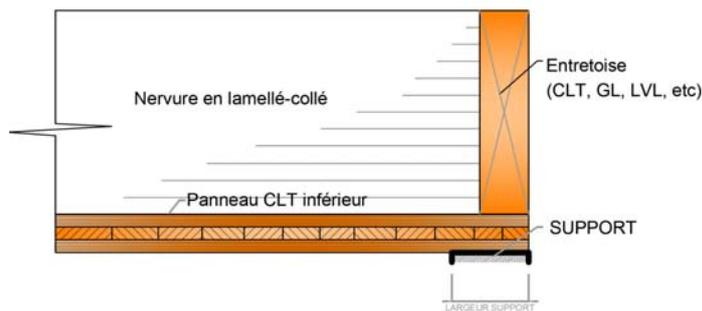
- Support avec CLT au-dessus :



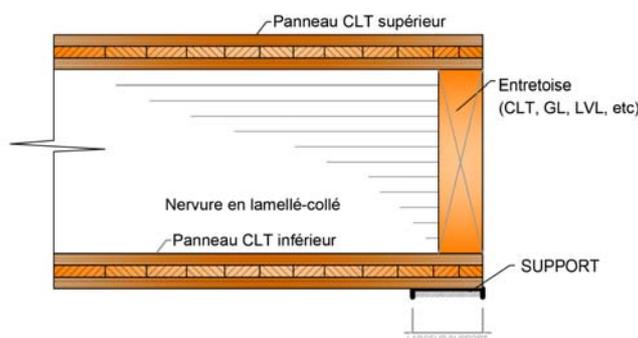
- Support en poutre de rive :



- Support avec CLT au-dessous (ajout platelage bois conformément au DTU 31.2) :



- Support avec CLT au-dessus et au-dessous :



Les éléments « CLT rib panel by Stora Enso » doivent avoir des poutres de rive ou des lignes d'entretoises à chacune des extrémités :

- Une poutre de rive est une poutre continue fixée à l'extrémité des nervures ;
- Une ligne d'entretoise est constituée d'éléments de petite longueur (entretoises) fixés entre les nervures.

Ces deux types de stabilisation d'extrémité ont au maximum la même hauteur que les nervures et sont dans la direction transversale des éléments « CLT rib panel by Stora Enso ».

Les poutres de rive et/ou les lignes d'entretoises sont réalisées par des éléments en bois qui sont cloués ou vissés, aux nervures et/ou aux membrures des éléments CLT Rib panel.

#### 2.2.4.3. Caractéristiques physiques des caissons « CLT rib panel by Stora »

- Masses volumiques :

Les masses volumiques à prendre en compte pour le CLT Stora Enso sont  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  et  $\rho_{\text{mean}} = 420 \text{ kg/m}^3$  (selon la norme EN 338). Pour le transport et le levage il est conseillé de prendre une masse volumique de  $500 \text{ kg/m}^3$ .

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 :

**Tableau 2-1 : Stabilité dimensionnelle des caissons nervurés**

Type de bois et essences	Gonflement ou retrait en % pour 1% de variation d'humidité du bois	
	Perpendiculaire au sens du fil ou à la surface du panneau	Parallèle au sens du fil ou dans le plan du panneau
Lamellé collé (Epicéa, pin)	0,24	0,01
CLT (Epicéa, pin)	0,24	0,02 – 0,04

- Coefficient de conductibilité thermique :  
 $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$
- Capacité calorifique massique :  
 $c = 1,60 \text{ kJ/kg.K}$ .
- Résistance à la migration de vapeur d'eau :  
 $\mu = 20\text{-}50 \text{ g/m.h.mm Hg}$

#### 2.2.5. Fabrication et contrôle

##### 2.2.5.1. Fabrication des panneaux Stora Enso CLT

La fabrication des panneaux STORA ENSO CLT est réalisée conformément au Document Technique d'Application Stora Enso CLT relevant de l'Évaluation Technique Européenne ETA-14/0349.

##### 2.2.5.2. Fabrication des caissons « CLT rib panel by Stora Enso »

La fabrication des caissons « CLT Rib panel by Stora Enso » est réalisée dans l'usine de STORA ENSO à Ybbs an der Donau en Autriche et dans l'usine d'ACDF Industrie sur le site de Vercel Villedieu le Camp en France. Le processus de fabrication des caissons est décrit ci-après.

##### 2.2.5.2.1. Pour un caisson ouvert CLT rib panel – CLT au-dessus des nervures

Mise en place et alignement des nervures à l'aide de cales ajustables fixées au sol selon l'entraxes des nervures déterminées au préalable. Une fois les cales fixées, les nervures et entretoises sont précisément maintenu.

Application de la colle sur la surface de contact des nervures en respectant les quantités définies à l'aide d'un peigne.

Mise en place du panneau CLT sur les nervures à l'aide du pont roulant. Des cales de bois sont visées temporairement sur les chants du panneau CLT afin d'aligner parfaitement le panneau CLT aux nervures en lamellé-collé formant un cadre.

Fixation des vis à travers le panneau afin d'appliquer la pression nécessaire au collage. L'entraxes des vis est vérifié via un gabarit.

Les caissons sont ensuite marqués conformément aux spécifications puis stockés en attendant leur expédition.

##### 2.2.5.2.2. Pour un caisson inversé CLT rib panel – CLT au-dessous des nervures

Même procédure que précédemment en ajoutant une rotation du caisson nervuré pour le livrer dans sa position finale sur chantier.

La rotation du caisson se fait à l'aide de deux platines métallique fixées au CLT aux extrémités du caisson dans le sens de la longueur, qui permettent un retournement maîtrisé avec le pont roulant

##### 2.2.5.2.3. Pour un caisson fermé CLT rib panel – CLT au-dessus et au-dessous des nervures

Même procédure que précédemment (caisson inversé).

Application de la colle sur la surface de contact des nervures en respectant les quantités définies à l'aide d'un peigne.

Mise en place du deuxième panneau CLT sur les nervures, toujours avec les cales en bois.

Insertion des vis à travers le panneau afin d'appliquer la pression nécessaire au collage.

Les caissons sont ensuite marqués conformément aux spécifications puis stockés en attendant leur expédition.

### 2.2.5.3. Application d'une pression au joint de colle

La pression au niveau du joint de colle est assurée par des vis sous ETE. Cette pression est vérifiée suivant la résistance en traction caractéristique de la vis choisie et leur distribution (espacement longitudinal et transversal). Les vis à large tête et à filetage partiel sont privilégiées.

Les vis doivent être définies par la résistance à la traction caractéristique minimale d'une vis, car cette résistance à la traction est utilisée pour créer la pression dans le joint de colle.

La résistance caractéristique minimale à la traction d'une vis doit être suffisante pour appliquer une pression de 0,20 MPa.

L'espacement maximum dans le sens longitudinal des vis doit être 2 fois inférieur à l'épaisseur du panneau CLT.

### 2.2.5.4. Contrôle de fabrication des caissons « CLT rib panel by Stora Enso »

#### 2.2.5.4.1. 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.

Le contrôle interne couvre les méthodes de production ainsi que le stockage et les caractéristiques de chaque élément structural collé. Les résultats de contrôle qualité interne sont consignés dans un registre spécifique à la disposition de l'organisme de contrôle externe (Holzforschung Austria et le CSTB) qui délivre le marquage CE.

##### 2.2.5.4.1.1. Dimensions des éléments

Une vérification de la géométrie des nervures est effectuée (épaisseur, largeur et longueur).

##### 2.2.5.4.1.2. Taux d'humidité et température

Les éléments CLT et lamellé-collé sont conditionnés au moins deux jours en usine avant l'assemblage. La température ambiante doit être supérieure à 20°C et 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 supérieure à 8 % avec une différence du taux d'humidité entre le CLT et la nervure qui ne doit pas excéder 4%.

La température du bois en surface est mesurée via un thermomètre surfacique. La température doit être supérieure à 20°C.

##### 2.2.5.4.1.3. Suivi

Tous les paramètres précédents sont enregistrés dans un rapport avec toutes les informations relatant la production qui y sont rapportées. Ce rapport est ajouté aux dessins de productions et sont archivés.

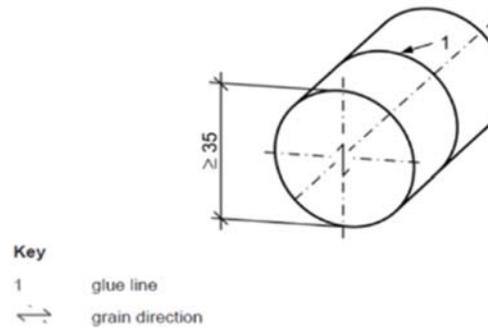
Pour tous les caissons assemblés, un protocole de collage incluant les données suivantes a été mis en place :

- Date de fabrication ;
- Equipe et chef d'équipe ;
- Opérateur ;
- Dimensions des pièces assemblées (nervures et CLT) ;
- Numéro du lot de colle ;
- Type de colle utilisée ;
- Conditions ambiantes (Température et humidité) ;
- Temps enregistré ;
- Numérotation des pièces ;
- Essence des bois utilisés ;
- Quantité de colle appliquée (g/m<sup>2</sup>) et remarques ;
- Taux d'humidité des bois (%) ;
- Temps de pressage ;
- Pression appliquée via les vis ;
- Qualité de surface des parties assemblées ;
- Remarques sur le déversement de colle (oui/non).

##### 2.2.5.4.1.4. Prélèvement d'échantillons :

Pour garantir un contrôle de qualité approprié, deux échantillons par panneau CLT doivent être prélevés en tant qu'échantillon de test. Pour les caissons nervurés ouverts ou inversés deux échantillons, pour les caissons nervurés fermés quatre échantillons (deux par panneau CLT). L'échantillon doit idéalement être prélevé au niveau d'une nervure centrale, et situé à un tiers de la longueur de la nervure dans le panneau (sous un chargement continu, cette localisation ne sera ni la localisation du cisaillement maximum, ni celle du moment de flexion maximum).

L'échantillon est prélevé selon la norme NF EN 14080, chapitre D.4 (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013).

**Figure 2-5: Joint de colle perpendiculaire à l'axe de perçage – (Figure D7a- NF EN 14080)****Figure 2-6: Echantillon prélevé**

Le perçage pour le prélèvement est fait à partir de la surface du panneau de CLT et pénètre d'au moins 3 à 4 cm dans la nervure en lamellé-collé se situant au-dessous.

L'échantillon est scié en pièce cubique à l'aide d'une scie circulaire. Ceci est nécessaire afin d'obtenir une surface propre et pour déterminer l'épaisseur du joint de colle avec un microscope.

#### 2.2.5.4.1.5. Essais

Par ailleurs, Stora Enso effectue les séries d'essais suivants en laboratoire pour vérifier les performances minimales requises :

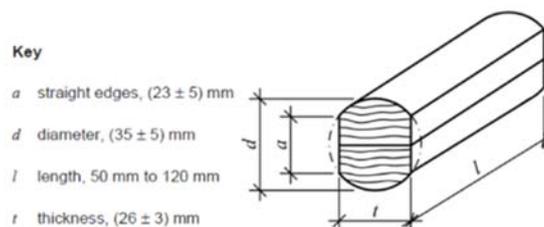
##### **Epaisseur du joint de colle :**

A chaque échantillon prélevé, l'épaisseur du joint de colle est évaluée. La mesure est effectuée à deux endroits différents, à égale distance. Le résultat de la mesure de l'épaisseur doit être égale à la moyenne arithmétique des deux épaisseurs mesurées. L'épaisseur du joint de colle doit être <0,30 mm.

Cette épaisseur du joint colle est primordiale car elle assure les bonnes conditions à la pression de collage.

##### **Essai de cisaillement :**

Les échantillons doivent être soumis à un essai de cisaillement conformément à la norme NF EN 14080, chapitres D.2 et D.3 4. (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013)

**Figure 2-7: Echantillon usiné pour l'essai –(Figure D.3 – NF EN 14080 (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013))**

Notez que l'échantillon de test, prélevé sur un caisson « CLT rib panel by Stora Enso » aura une composition différente (toutes les couches n'étant pas orientées dans la même direction) et différera donc de la figure ci-dessus. Le seul joint de colle à tester est celui entre la nervure et le CLT comme présenté ci-dessous.

Figure 2-8: Echantillon de prélèvement avec joint de colle (CLT/GLT)

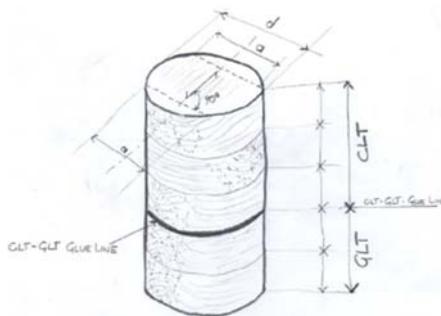
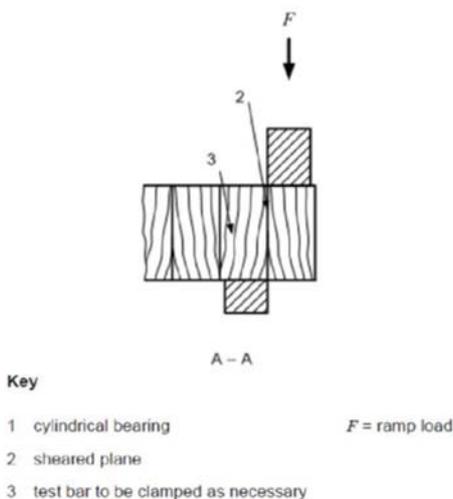


Figure 2-9: Figure D.1 (NF EN 14080 (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013)) – Essai de cisaillement



La rupture du bois en pourcentage est estimée en observant la surface du plan de cisaillement qui est couverte par des fibres de bois. L'échantillon est marqué puis stocké.

L'essai de cisaillement doit être en accord avec la norme NF EN 14080, tableau 10.

Dans le cas où un échantillon sur deux échoue au test de cisaillement, un autre échantillon doit être prélevé sur le caisson à un emplacement différent. Si cet échantillon de remplacement est conforme, l'élément est accepté. Si l'échantillon échoue à nouveau, l'élément ne sera pas installé sur le chantier et sera reproduit.

Un élément qui n'est pas conforme, doit être marqué avec de la peinture en aérosol ou similaire, pour éviter toute confusion.

**Essai de délamination :**

Deux ou trois fois par an, des tests de délamination seront effectués selon la norme NF EN 16351 par l'organisme externe (Holzforschung Austria et le CSTB) pour vérifier la conformité du joint de colle.

**2.2.6. Dimensionnement**

2.2.6.1. Coefficients

**2.2.6.1.1. 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 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004) et l'annexe nationales applicable. Le coefficient de sécurité partiel recommandé est  $\gamma_M=1,25$ .

**2.2.6.1.2. Facteur modificatif et de déformation**

Le facteur modificatif pour la résistance  $k_{mod}$  et le facteur de déformation  $k_{def}$  à appliquer au « CLT rib panel by Stora Enso » doivent être conformes aux tableaux 2-2 et 2-3 ci-après. Le taux d'humidité et la durée de chargement doivent être également choisi selon l'annexe nationale applicable.

**Tableau 2-2: Facteur modificatif  $K_{mod}$** 

CLT et lamellé-collé					
Classe de service	Classe de durée de chargement				
	Permanente	Long terme	Moyen terme	Court terme	Instantanée
1	0,6	0,70	0,8	0,90	1,1
2	0,6	0,70	0,8	0,90	1,1
3	-	-	-	-	-

**Tableau 2-3: Facteur de déformation  $K_{def}$** 

	Classe de service		
	1	2	3
CLT	0,80	1,00	-
Lamellé-collé	0,60	0,80	-

Le facteur de déformation  $k_{def}$  est un facteur permettant d'évaluer la déformation due au fluage. L'application d'un  $k_{def}$  uniforme à l'ensemble du système est permise pour simplifier le calcul. Dans ce cas, une moyenne géométrique du  $k_{def}$  est calculée comme suit :

$$k_{def} = \sqrt{k_{def,CLT} \cdot k_{def,CLT}} \quad \text{Eq. 2-1}$$

Cependant, un résultat plus précis sera obtenu en appliquant le facteur  $k_{def}$  à chaque couche individuelle (section composée, Cf. chapitre 2.2.7.2.1).

Les classes de service sont définies dans la norme EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004).

### 2.2.6.1.3. 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) (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004). Pour les éléments en flexion la valeur caractéristique pour  $f_{m,0,k}$  and  $f_{t,0,k}$  doit être multiplié par le facteur  $k_h$  :

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right\} \quad \text{Eq. 2-2}$$

Avec  $h$  est la hauteur de la pièce [mm].

### 2.2.6.1.4. Résistance de calcul

Les valeurs de calcul sont calculées suivant l'équation suivante :

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad \text{Eq. 2-2}$$

Avec :

- $X_d$  est la résistance de calcul ;
- $X_k$  est la résistance caractéristique.

### 2.2.6.2. Etats limites ultimes

L'exigence est la suivante :

$$E_d \leq R_d \quad \text{Eq. 2-3}$$

Où :

- $E_d$  est la valeur de calcul de l'action ;
- $R_d$  est la valeur correspondante de la résistance de calcul.

## 2.2.7. Etats limites de services

### 2.2.7.1. Déformation

Les valeurs limites pour la déformation sont conformes à la norme NF EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004) 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.

La flèche finale ne pourra excéder  $L/250$  où  $L$  est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux CLT RIB PANEL.

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder  $L/300$  où  $L$  est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux CLT RIB PANEL.

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des panneaux CLT RIB PANEL les valeurs suivantes :

Pour les planchers, la flèche active, pouvant nuire aux revêtements de sols rigides, ne doit pas dépasser :

- Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- Soit  $L/500$  de la portée si celle-ci est  $\leq 7,0$  m ; ou  $0,7 \text{ cm} + L/1\,000$  de la portée si celle-ci est supérieure à  $7,0$  m, sinon.

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- Soit  $L/350$  de la portée si celle-ci est  $\leq 7,0$  m ;
- Soit  $1 \text{ cm} + L/700$  de la portée si celle-ci est supérieure à  $7,0$  m.

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, étanchéité, ...). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné.

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.

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. L'état limite du service de combinaison est utilisé.

On a la flèche instantanée  $w_{inst}$  :

$$w_{inst} = \underbrace{\sum_{j \geq 1} w_{inst,G,j} + w_{inst,Q1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}}_{\text{Combinaison de charges caractéristique}} \quad \text{Eq. 2-4}$$

On a la flèche finale  $w_{fin}$  :

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

Eq. 2-5

On a la flèche résultante finale  $w_{net,fin}$  :

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

Eq. 2-6

N.b : Cette équation s'applique si le coefficient  $k_{def}$  est considéré constant pour la totalité de la section. (Voir Eq. 2-1).

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.

## 2.2.7.2. Introduction du coefficient de déformation (fluage) $k_{def}$ dans un système hybride

### 2.2.7.2.1. Méthode précise

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

La rigidité à la flexion est définie au chapitre 2.2.10.2

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

- Poutre à simple travée ;
- Supports articulés ;
- Chargement continu pour la charge quasi permanente (pour analyse de  $w_{net,fin}$ ) ;
- Chargement unitaire, « 1 » ;
- La déformation due au cisaillement est incluse.

$$w_{1,inst} = \frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}} + \frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}}$$

Déformation due au moment fléchissant    Déformation due au cisaillement

$$w_{1,creep} = \frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,creep,ef}} + \frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,creep,ef}}$$

Déformation due au moment fléchissant    Déformation due au cisaillement

Déformations dues au moment fléchissant

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

Déformations dues au cisaillement

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

Avec :

- $q_{inst}$ , la combinaison de charge caractéristique ;
- $q_{creep}$ , la combinaison de charge quasi-permanente.

**Figure 2-10: Introduction du facteur  $k_{def}$  au niveau de la rigidité**

$$(EI)_{y,ef} = \sum_i E_i \cdot I_{y,i} + \sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i^2 \quad \text{Eq. 2-7}$$

Et

$$(EI)_{y,creep,ef} = \sum_i E_{i,creep} \cdot I_{y,i} + \sum_i E_{i,creep} \cdot A_i \cdot e_i^2 \quad \text{Eq. 2-8}$$

Avec :

$$E_{CLT,creep} = \frac{E_{0,mean,CLT}}{1 + K_{def,CLT}} \quad \text{Eq. 2-9}$$

$$E_{GLT,creep} = \frac{E_{0,mean,GLT}}{1 + K_{def,GLT}} \quad \text{Eq. 2-10}$$

$$(GA)_{y,ef} = \sum_i (G_{i,inst} \cdot A_i) \cdot \kappa \quad \text{Eq. 2-11}$$

$$(GA)_{y,creep,ef} = \sum_i (G_{i,creep} \cdot A_i) \cdot \kappa \quad \text{Eq. 2-12}$$

Ainsi, un calcul séparé des actions sur le CLT et sur la nervure en lamellé collé est effectué, puis sont additionnées pour les vérifications.

### 2.2.7.2.2. Méthode simplifiée

La majeure partie de la rigidité à la flexion est assurée par la nervure dans le système de caisson nervuré. Il doit donc être suffisant d'appliquer un  $k_{def}$  uniforme à l'ensemble du système.

Dans ce cas, un  $k_{def}$  moyen doit être calculé comme indiqué dans l'équation Eq. 2-1.

Les équations ci-dessous illustrent la méthode, en tenant compte des conditions suivantes : poutre à simple travée, supports articulés, chargement continu pour la charge quasi permanente (pour analyse de  $w_{net,fin}$ ), prise en compte de la déformation due au cisaillement.

**Figure 2-11 : Application du  $K_{def}$  uniforme à l'intégralité du système**

$$w_{1,inst} = \frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}} + \frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}}$$

Déformation due au moment fléchissant    Déformation due au cisaillement

$$w_{1,creep} = \left( \frac{5 \cdot "1" \cdot L^4}{384 \cdot (EI)_{y,ef}} + \frac{"1" \cdot L^2}{8 \cdot (GA)_{y,ef}} \right) \cdot K_{def}$$

Déformation due au moment fléchissant    Déformation due au cisaillement

### 2.2.7.3. Vibration

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

#### 2.2.7.3.1. Eurocodes

L'analyse de la vibration doit être effectuée conformément à la norme NF EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004) 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 est automatiquement celle à prendre en compte.

Actuellement, l'annexe nationale autrichienne de la norme EN 1995-1-1 contient les instructions pour le dimensionnement à la vibration les plus complètes, qui sont étroitement liées aux résultats de recherche de Patricia Richter et Antje Hamm (Richter, 2009).

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 propriétaires) sur le même niveau.	Un élément de plancher portant sur la même unité d'occupation (appartements avec le même propriétaire) 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/m <sup>2</sup> )	

- Critère de fréquence :

Plancher classe I	Plancher classe II
Un élément de plancher portant sur différentes unités d'occupation (appartements avec différents propriétaires) sur le même niveau.	Un élément de plancher portant sur la même unité d'occupation (appartements avec le même propriétaire) sur le même niveau.
$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$	$f_1 \geq 6 \text{ Hz}$
$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{(EI)_{l,eff}}{m} \cdot \sqrt{1 + \underbrace{\left(\frac{l}{b_R}\right)^4 \cdot \frac{(EI)_{b,eff,1m}}{(EI)_{l,eff,1m}}}_{\text{rigidité dans le sens transversal}}}}$ <p style="text-align: center;">Eq. 2-13</p>	
f <sub>1</sub>	Première fréquence fondamentale [Hz]
(EI) <sub>l,eff,1m</sub>	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 Nm <sup>2</sup> / 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 le revêtement de sol, la rigidité de la chape (EI) <sub>chape</sub> peut également être ajoutée.
(EI) <sub>b,eff,1m</sub>	Similaire à (EI) <sub>l,eff,1m</sub> , uniquement en direction transversale (perpendiculaire à la direction du sens porteur [Nm <sup>2</sup> / 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/m <sup>2</sup> = $\sum_{i \geq 1} G_{k,i}$ [kg/m <sup>2</sup> ]
b <sub>R</sub>	Largeur totale du plancher (n'est pas nécessairement limitée à la largeur du panneau (Souvent la largeur de la pièce)
l	Portée [m]

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

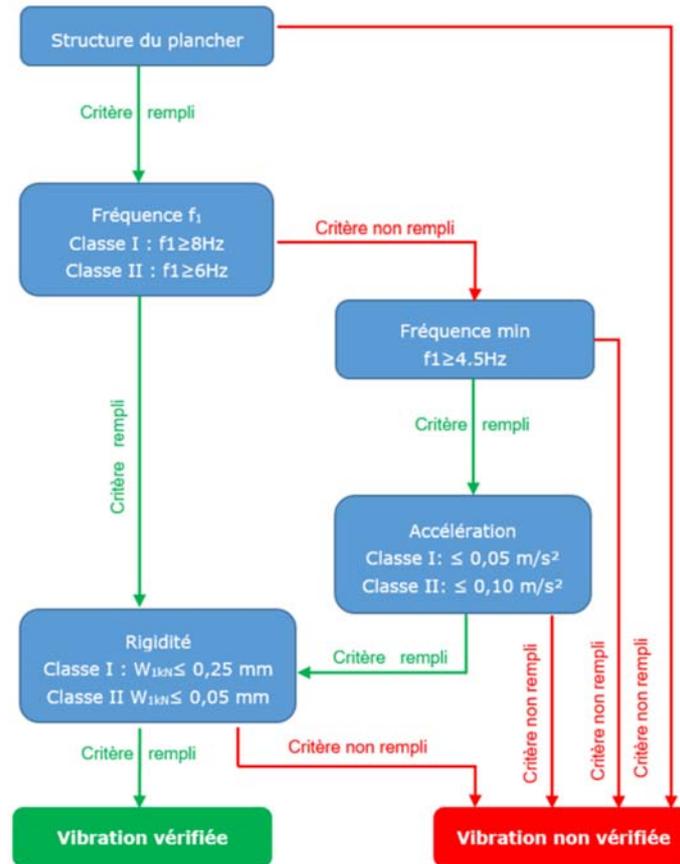
Plancher classe I	Plancher classe II
Un élément de plancher portant sur différentes unités d'occupation (appartements avec différents propriétaires) sur le même niveau.	Un élément de plancher portant sur la même unité d'occupation (appartements avec le même propriétaire) sur le même niveau.
$f_1 \geq 4,5 \text{ Hz}$	$f_1 \geq 4,5 \text{ Hz}$
$a_{rms} \leq 0,05 \text{ m/s}^2$	$a_{rms} \leq 0,10 \text{ m/s}^2$
$a_{rms} = \frac{0,04 \cdot e^{-0,47 \cdot f_1} \cdot F_0}{2 \cdot \zeta \cdot \underbrace{\left[ \frac{m \cdot l \cdot b_R}{2} \right]}_{\text{modal mass } M^*}}$	
<p>Eq. 2-14</p> <p>f1 Première fréquence fondamentale</p> <p>F<sub>0</sub> Force de 700N (Défini dans l'annexe nationale autrichienne, lié au poids moyen d'un homme)</p> <p>ζ Rapport d'amortissement modal. Pour les planchers en CLT et pour les caissons nervurés, Un ratio d'amortissement de 4% est considéré (0,04)</p> <p>M Masse de la structure de l'élément en kg/m<sup>2</sup> = Σ<sub>i≥1</sub> G<sub>k,i</sub> [kg/m<sup>2</sup>]</p> <p>b<sub>R</sub> Largeur totale du plancher (n'est pas nécessairement limitée à la largeur du panneau (Souvent la largeur de la pièce)</p> <p>L Portée [m]</p>	

- Critère de rigidité :

Plancher classe I	Plancher classe II
Un élément de plancher portant sur différentes unités d'occupation (appartements avec différents propriétaires) sur le même niveau.	Un élément de plancher portant sur la même unité d'occupation (appartements avec le même propriétaire) sur le même niveau.
$w_{1kN} \leq 0,25 \text{ mm}$	$w_{1kN} \leq 0,50 \text{ mm}$
$w_{1kN} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (EI)_{l,eff,1m} \cdot \left[ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_{b,eff,1m}}{(EI)_{l,eff,1m}}} \right]} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot (GA)_{l,eff,1m} \cdot \left[ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_{b,eff,1m}}{(EI)_{l,eff,1m}}} \right]}$	
f1	Première fréquence fondamentale [Hz]
(EI) <sub>l,eff,1m</sub>	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 Nm <sup>2</sup> / m. La rigidité à la flexion est basée sur la valeur moyenne du module de Young et le moment d'inertie efficace.
(EI) <sub>b,eff,1m</sub>	Si une chape est présente dans en revêtement de sol, la rigidité de la chape (EI) chape peut également être ajoutée. Similaire à (EI) <sub>l,eff,1m</sub> , uniquement en direction transversale (perpendiculaire à la direction du sens porteur [Nm <sup>2</sup> / 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) <sub>l,eff,1m</sub>	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 Nm <sup>2</sup> / m.
L	Portée [m]

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

Figure 2-12: Organigramme pour la vérification à la vibration



### 2.2.8. Vides / ouvertures dans la nervure en lamellé-collé

Les vides sont des ouvertures avec une dimension  $d$ , au plus égale à  $\min(h/10 ; 50 \text{ mm})$ .

Les vides et les ouvertures dans les nervures en lamellé-collé des panneaux CLT RIB PANEL sont réalisés uniquement en usine et au nombre de 3 maximum par nervure.

Aucun percement des nervures n'est autorisé sur chantier.

Pour le positionnement des vides et des ouvertures de toute taille, les conditions limites indiquées dans la figure ci-dessous doivent être respectées. Tous les angles de l'ouverture doivent être arrondis avec un diamètre minimum de 15 mm.

- $l_A \geq 0,5 \cdot h$  ;
- $l_v \geq h$  ;
- $\min[l_z \geq 1,5 \cdot h ; 300 \text{ mm}]$  ;
- $a \leq 2,5 \cdot h_d$  ;
- $h_{ro}$  et  $h_{ru} \geq 0,35 \cdot h$  ;
- $h_d \leq 0,15 \cdot h$ .

Figure 2-13

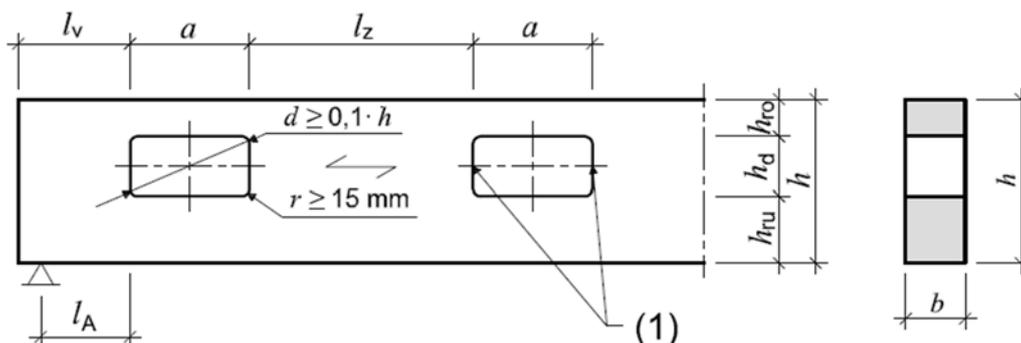
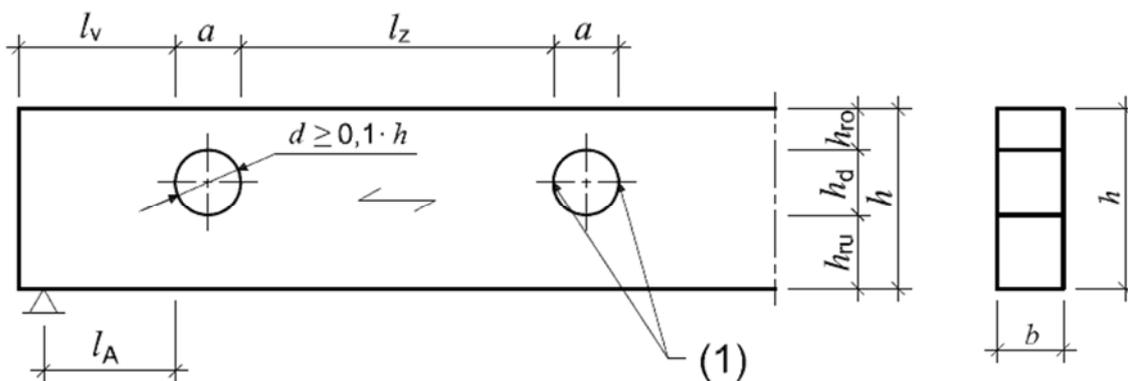


Figure 2-14



(1) Limites de l'ouverture

Seuls les vides non renforcés (renforcement par vis) sont présentés dans la méthode de dimensionnement ci-dessous. En plus des étapes d'analyse présentées dans ce chapitre, la contrainte de flexion doit être vérifiée dans les limites de la section. Pour les vides/ouvertures, présentés dans les figures ci-dessus, la contrainte de fendage (traction perpendiculaire aux fibres) et la contrainte de cisaillement doivent être analysées. Pour les contraintes de fendage, la condition suivante doit être remplie :

$$\sigma_{t,90d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b_{ef} \cdot k_{t,90}} \leq f_{t,90,d} \quad - \text{Eq. 2-15}$$

$$k_{t,90} = \min \left\{ \left( \frac{450}{h} \right)^{0,5} \right\} \quad - \text{Eq. 2-16}$$

Avec :

- $\sigma_{t,90d}$  : Valeur de calcul de la contrainte de traction perpendiculaire au fil [N/mm<sup>2</sup>] ;
- $F_{t,90d}$  : Force de traction perpendiculaire au fil [N] ;
- $l_{t,90}$  : Longueur de distribution de contrainte [mm] ;
- $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$  : Largeur efficace de la nervure en lamellé-collé (Calculé conformément à l'annexe nationale autrichienne de la norme EN 1995-1-1, équation (6.13a) Eq. 2-17 et  $k_{cr} = 0,67$  ;
- $f_{t,90,d}$  : Valeur de calcul de la résistance en traction perpendiculaire au fil [N/mm<sup>2</sup>] ;
- $h$  : Hauteur de la nervure [mm].

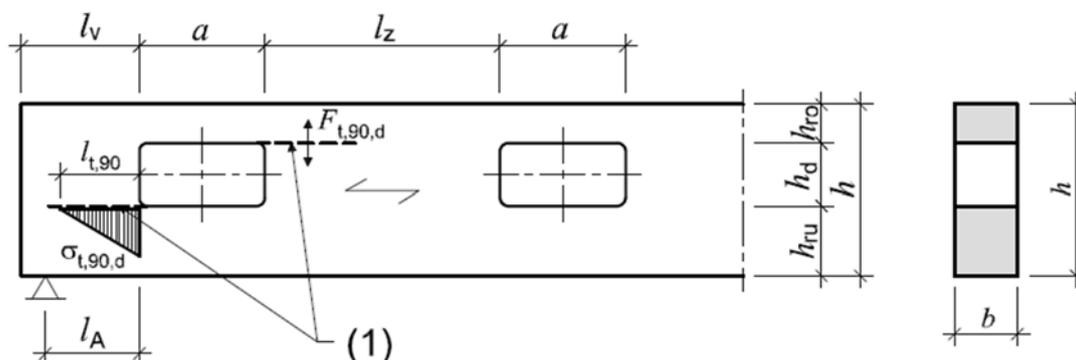
On a :

- Section rectangulaire  $l_{t,90} = 0,5 \cdot (h_d + h) \quad \text{Eq. 2-18}$

- Section circulaire  $l_{t,90} = 0,35 \cdot h_d + 0,5 \cdot h \quad \text{Eq. 2-19}$

Avec :

Figure 2-15



(1) Fissure potentielle de rupture

La force de traction perpendiculaire au fil est donc :

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d} \quad \text{Eq. 2-20}$$

Pour section rectangulaire :

$$F_{t,V,d} = \Omega_{\text{shape}} \cdot \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[ 3 - \left( \frac{h_d}{h} \right)^2 \right] \quad \text{Eq. 2-21}$$

Pour section circulaire :

$$F_{t,V,d} = \Omega_{\text{shape}} \cdot \frac{V_d \cdot 0,7 \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[ 3 - \left( \frac{h_d}{h} \right)^2 \right] \quad \text{Eq. 2-22}$$

$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} \quad \text{Eq. 2-23}$$

Avec :

- $F_{t,V,d}$  : Valeur de calcul de la force de traction perpendiculaire au fil, résultant de la force de cisaillement [N] ;
- $F_{t,M,d}$  : Valeur de calcul 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 de l'ouverture [N.mm].
- $\Omega_{\text{shape}}$

Section en T	Section en H (caisson fermé)
1,30	1,50

- $V_d$  : Valeur de calcul de la force de cisaillement à la limite de l'ouverture [N] ;
- $h$  : Hauteur de la nervure [mm] ;
- $h_r$  : Hauteur de calcul [mm].

Rectangulaire	Circulaire
$h_r = \min \begin{cases} h_{ro} \\ h_{ru} \end{cases}$	$h_r = \min \begin{cases} h_{ro} + 0,15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \end{cases}$
Eq. 2-24	Eq. 2-25

- $h_d$  : Hauteur de l'ouverture [mm].

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 du vide).

$$\tau_d = k_\tau \cdot \frac{V_d \cdot \sum_i (E_i \cdot A_i \cdot e_i)}{EI_{\text{ef}} \cdot b} \leq f_{v,d} \quad \text{Eq. 2-26}$$

$$k_\tau = 1,85 \cdot \left( 1 + \frac{a}{h} \right) \cdot \left( \frac{h_d}{h} \right)^{0,2} \quad \text{Eq. 2-27}$$

Avec :

- $\tau_d$  : Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement soit de la section supérieure ou soit de la section inférieure par rapport à l'ouverture (vide) ;
- $k_\tau$  : Coefficient à prendre en compte pour la contrainte de cisaillement maximum ;
- $V_d$  : Valeur de calcul de la force de cisaillement au niveau du vide pour la section supérieure ou inférieure au vide [N] ;
- $EI_{\text{ef}}$  : Rigidité efficace en flexion de la section supérieure/inférieure par rapport au vide ;
- $E_i$  : Module d'élasticité de la section partielle ;
- $A_i$  : Surface de la section partielle ;
- $e_i$  : Excentricité (distance entre le centre de gravité (C.O.G) de la section supérieure/inférieure par rapport au vide et au C.O.G de la section partielle) ;
- $b$  : Largeur efficace de la nervure (Vérifier dans la norme EN 1995-1-1, équation (6.13a)) ;
- $h$  : Hauteur de la nervure [mm] ;
- $h_d$  : Hauteur de l'ouverture [mm] ;
- $a$  : Longueur de l'ouverture ; pour les ouvertures circulaires  $a=h_d$  ;
- $f_{v,d}$  : Valeur de calcul de la résistance au cisaillement [N/mm<sup>2</sup>].

Pour la contrainte de flexion, les conditions suivantes doivent être remplies :

$$\frac{\frac{M_d}{W_n} + \frac{M_{o,d}}{W_o}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 2-28}$$

Et

$$\frac{\frac{M_d}{W_n} + \frac{M_{u,d}}{W_u}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 2-29}$$

Avec :

$$M_{o,d} = \frac{A_o}{A_u + A_o} \cdot V_d \cdot \frac{a}{2} \quad \text{Eq. 2-30}$$

$$M_{u,d} = \frac{A_u}{A_u + A_o} \cdot V_d \cdot \frac{a}{2} \quad \text{Eq. 2-31}$$

$$A_o = b \cdot h_{ro} \quad \text{Eq. 2-32}$$

$$A_u = b \cdot h_{ru} \quad \text{Eq. 2-33}$$

$$W_o = \frac{b \cdot h_{ro}^2}{6} \quad \text{Eq. 2-34}$$

$$W_u = \frac{b \cdot h_{ru}^2}{6} \quad \text{Eq. 2-35}$$

Avec :

- $M_d$  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 [mm<sup>3</sup>] ;
- $f_{m,d}$  Valeur de calcul de la résistance en flexion de la nervure [N/mm<sup>2</sup>] ;
- $h_{ro}$  Voir sur figures ci-dessus ;
- $h_{ru}$  Voir sur figures ci-dessus.

Pour les vides 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.

### 2.2.9. Vides (trémies) dans le panneau CLT

Les vides 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.

Les vides dans le panneau CLT ne doivent pas être plus larges que la distance entre les nervures et ne doivent pas être situés au-dessus d'une nervure.

Les trémies dans les planchers en 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.

Ce type d'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 l'Avis Technique en cours de validité du procédé Stora Enso CLT, Chapitre 5.25 « Vérification des planchers avec trémies ».

Dans le cas de trémie importante (avec interruption des nervures) comme avec les escaliers par exemple, le report des charges se fait via un chevêtre qui transmet ces charges sur les nervures des caissons adjacents. Ces charges rapportées doivent être limitées après combinaison à 500 daN. Pour des charges combinées supérieures à 500 daN, des vis de fretage 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.

### 2.2.10. Propriétés de la section transversale

#### 2.2.10.1. Section efficace en flexion

La section transversale des « CLT Rib panel by Stora Enso » en caissons ouverts est divisée en sections T et L, et pour les caissons fermés, en C et I - voir la figure ci-dessous. Chaque section doit être calculée individuellement.

Figure 2-16: Section d'un CLT rib panel (caisson ouvert)

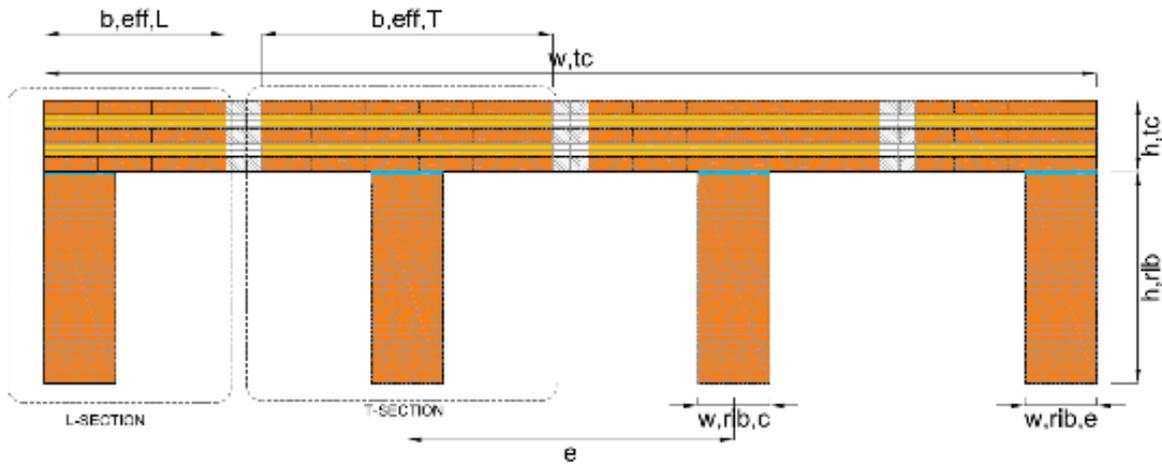
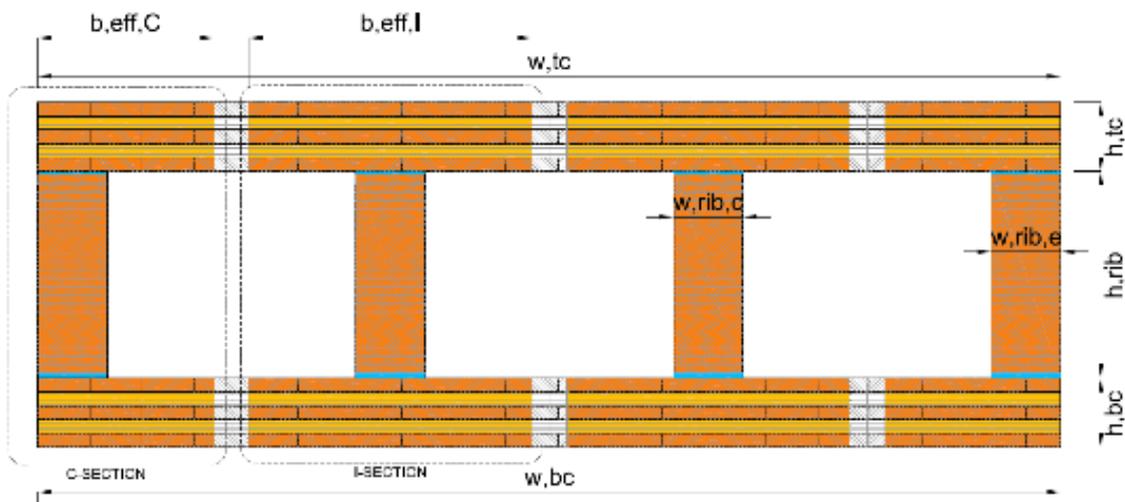


Figure 2-17: Section d'un CLT Rib panel (caisson fermé)



Les figures ci-dessus montrent les sections partielles individuelles des caissons nervurés ouverts et fermés. Les sections partielles sont créées en utilisant la largeur respective de la bande de chargement.

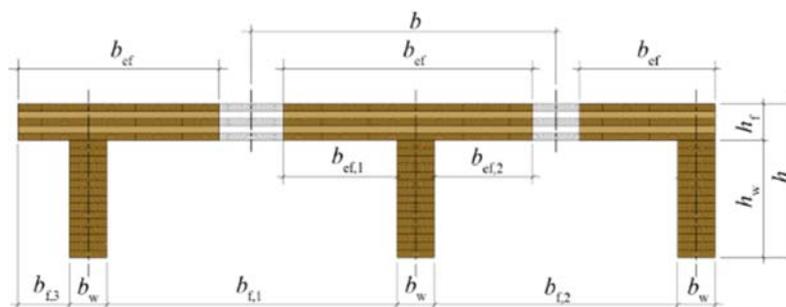
**Largeur efficace :**

La largeur effective pour les panneaux nervuré doit être déterminée par la fonction d'ajustement à une théorie, élaborée par T. Bogensperger, Holzbau Forschungs GmbH (TU Graz) (Augustin, 2017). Les connaissances de base sur cette théorie se trouve dans la référence (Bogensperger, 2013).

**2.2.10.1.1. Largeur efficace pour un CLT rib panel avec un chargement continu**

La largeur efficace est déterminée comme ci-dessous :

Figure 2-18: Largeur efficace



$$b_{ef} = b_w + \sum b_{ef,i} \quad \text{Eq. 2-36}$$

$$b_{ef,i} = b_{f,j} \cdot \min \left\{ 0,5 - 0,35 \cdot \left( \frac{b_{f,j}}{l} \right)^{0,90} \cdot \left( \frac{(E \cdot A)_x}{S_{xy}^*} \right)^{0,45} \right. \quad \text{Eq. 2-37}$$

Avec :

- $b_{ef}$  Largeur efficace totale [mm]
- $b_{ef,i}$  Largeur efficace à chaque côté de la nervure [mm]
- $b_{f,j}$  Distance réelle entre les nervures [mm]
- $(EA)_x$  Rigidité dans le plan du panneau CLT en direction longitudinale [N/m]
- $S_{xy}^*$  Rigidité en cisaillement de l'élément en CLT [N/m]

Les équations Eq. 2-36 et Eq. 2-37 s'appliquent peu importe si le panneau CLT est fixé au-dessus ou au-dessous des nervures.

### 2.2.10.1.2. Largeur efficace pour un CLT rib panel avec un chargement ponctuel

La largeur efficace au niveau d'une poutre sous l'effet d'une charge ponctuelle est déterminée suivant les équations suivantes.

La largeur efficace est déterminée comme ci-dessous :

$$\frac{h_w}{h_f} = 2 : b_{ef,i} = b_{f,j} \cdot \min \left\{ 0,5 - 0,4 \cdot \left( \frac{b_{f,j}}{l} \right)^{0,15} \cdot \left( \frac{(E \cdot A)_x}{S_{xy}^*} \right)^{0,10} \right. \quad \text{Eq. 2-38}$$

Et

$$5 \geq \frac{h_w}{h_f} \geq 3 \quad \text{Eq. 2-39}$$

$$b_{ef,i} = b_{f,j} \cdot \min \left\{ 0,5 - 0,275 \cdot \left( \frac{b_{f,j}}{l} \right)^{0,30} \cdot \left( \frac{(E \cdot A)_x}{S_{xy}^*} \right)^{0,30} \right. \quad \text{Eq. 2-40}$$

Avec :

- $h_w$  Hauteur de la nervure (Web)  $h_w = h_{rib}$  [mm]
- $h_f$  Hauteur (épaisseur) de la membrure (Panneau(x) CLT  $h_f = t_{CLT, tot}$  [mm])
- $l$  Portée [mm]
- $b_{f,j}$  Distance réelle entre les nervures [mm]

Les caissons nervurés « CLT rib panel by Stora Enso » ayant un rapport de hauteur  $\frac{h_w}{h_f}$  compris entre 2 et 3 peuvent être interpolé.

Il n'est pas interdit d'appliquer cette équation pour les systèmes avec un rapport  $\frac{h_w}{h_f} > 5$ .

Les équations Eq. 2-38 et Eq. 10-5 s'appliquent, peu importe si le panneau CLT est fixé à la partie supérieure de la nervure ou à la partie inférieure de la nervure.

### 2.2.10.1.3. Largeur efficace pour un CLT rib panel au niveau des appuis

Au niveau des appuis, la vérification au cisaillement gouvernera le dimensionnement. La contrainte de cisaillement, en particulier la contrainte de cisaillement roulant, se diffuse sur un angle de 45°, en partant du bord d'une nervure. La première couche transversale est atteinte après avoir pénétré la couche extérieure inférieure (toujours dans la direction principale).

Un joint de collage (chant de lamelle) de la couche extérieure du CLT en partie inférieure pourrait s'aligner avec le bord d'une nervure. Dans le cas suivant, on peut exclure le fait qu'un joint de collage (chant) de la couche extérieure du CLT en partie inférieure s'aligne avec le bord d'une nervure sur les deux côtés.

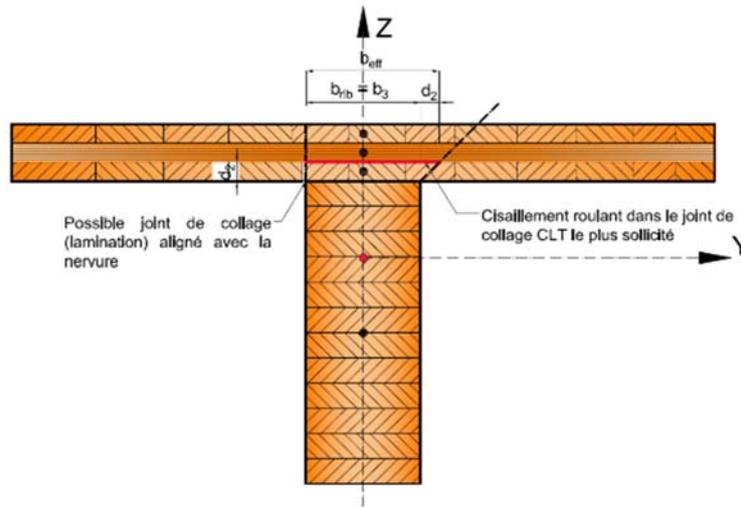
**Tableau 10-1 : Largeur efficace augmentée**

$d_2$	$W_{rib}$	$b_{ef}$
[mm]	[mm]	[mm]
20	60	$W_{rib} + 20$
30	60 - 90	$W_{rib} + 30$
40	60-120	$W_{rib} + 40$

Dans ces cas, la largeur efficace pour la vérification au cisaillement roulant est à considérer comme dans l'équation suivante

$$b_{ef} = b_w + 2 \cdot \frac{d_2}{2} = b_w + d_2 \quad \text{Eq. 2-41}$$

Figure 2-19 : Largeur efficace au niveau d'un appui

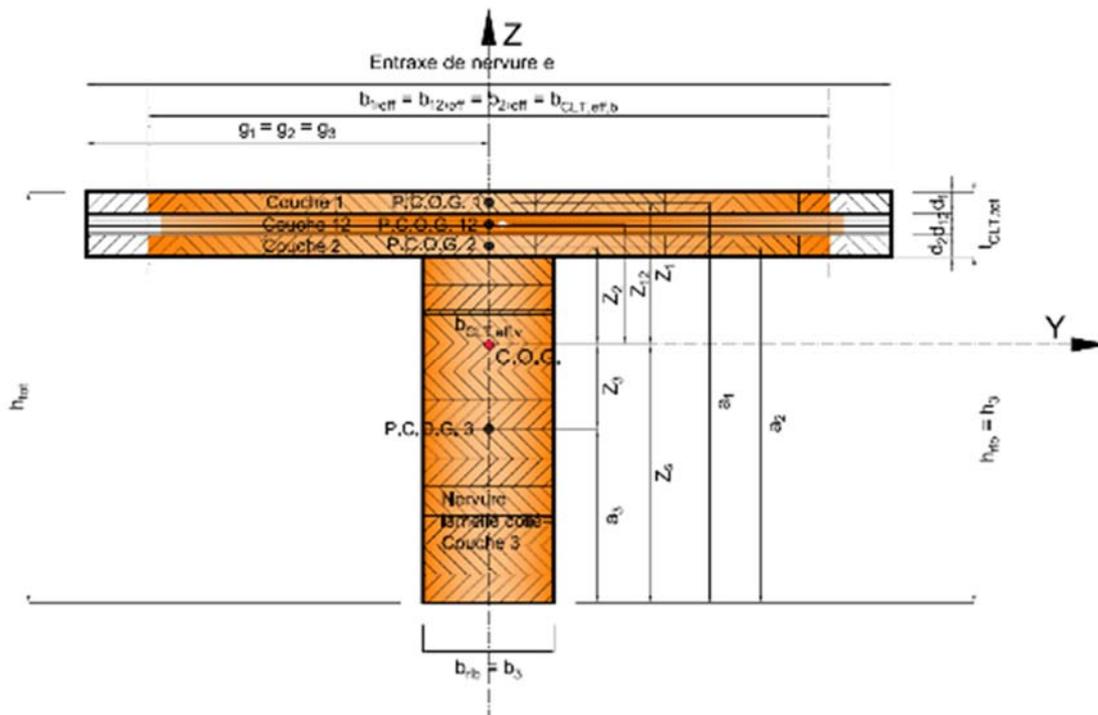


Pour tous les autres cas, il est possible que les bords de la nervure en lamellé-collé s'alignent sur les deux côtés avec un joint de collage dans la couche extérieure inférieure du panneau CLT, et par conséquent, la largeur efficace doit être supposée égale à la largeur de la nervure :

$$b_{ef} = b_w \quad \text{Eq. 2-42}$$

### 2.2.10.2. Rigidité en flexion

Figure 2-20: Section commune d'un caisson nervuré (section en T)



#### Notation de la composition des couches :

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 croisées (par exemple entre les couches principales i et j, j et k, etc...).

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

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

$$A_i = b_{i,eff} \cdot d_i \quad \text{Eq. 2-43}$$

Avec :

- $b_{i,eff}$  est la largeur efficace de la couche i dans la section CLT, ou la largeur de la nervure ;
- $d_i$  est 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 panneau CLT + la section de la nervure.

$$A_{net} = \sum_i A_i \quad \text{Eq. 2-44}$$

La localisation du centre de gravité (C.O.G) est rapportée à la partie inférieure de la section du caisson nervuré :

$$z_s = \frac{\sum_i E_i \cdot A_i \cdot a_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} \quad \text{Eq. 2-45}$$

Avec :

- $A_i$  est surface de la section de la couche  $i$  ou de la nervure ;
- $a_i$  est la distance entre le bord inférieur de la section du caisson nervuré et le centre de gravité partiel de la couche / nervure respective ;
- $E_i$  est 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. (ELU  $t=0$ , ELU  $t=\infty$ , ELS  $t=0$ , ELS creep).

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.

Les valeurs suivantes sont basées sur :

- $E_{0,mean,CLT} = 12,500 \text{ N/mm}^2$  (en accord avec ETA-14/0349) ;
- $E_{0,mean,GLT} = 11,500 \text{ N/mm}^2$  (GL 24h, en accord avec la NF EN 14080).

**Tableau 10-2 : Module d'elasticité pour les différents cas de dimensionnement**

Design	Temps	Définition selon EN 1995-1-1	$E_0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$		$G_0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$		$Gr \text{ [N/mm}^2\text{]}$	
			CLT	GLT	CLT	GLT	CLT	GLT
ELU	$t = 0$	$X_{inst,d} = \frac{X_{mean}}{\gamma_M}$	10,000	9,200	552	520	40.0	52.0
		$n_{inst,d} = X_{CLT} / X_{GLT}$	1.087					
	$t = \infty$	$X_{fin,d} = \frac{X_{mean}}{\gamma_M \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})}$	8,065	7,797	445	441	32.3	44.1
		$n_{fin,d} = X_{CLT} / X_{GLT}$	1.034					
ELS	$t = 0$	$X_{inst} = X_{mean}$	12,500	11,500	690	650	50	65
		$n_{inst,d} = X_{CLT} / X_{GLT}$	1.087					
	Creep $t = \infty$	$X_{creep} = \frac{X_{mean}}{k_{def}}$	15,625	19,166	863	1,083	63	108
		$n_{creep,d} = X_{CLT} / X_{GLT}$	0.815					
	$t = \infty$	$X_{fin} = \frac{X_{mean}}{1 + k_{def}}$	6,944	7,188	383	406	27.8	40.6
		$n_{fin,d} = X_{CLT} / X_{GLT}$	0.966					

$n_{inst}$  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 en tension et en compression, la rigidité en flexion doit être calculée de manière séparée pour le moment de flexion négatif et positif.

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

$$EI_i = \frac{E_i \cdot b_{i,eff} \cdot d_i^3}{12} + E_i \cdot A_i \cdot z_i^2 \quad \text{Eq. 2-46}$$

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	$EI_{i,inst,d} = \frac{E_{i,inst,d} \cdot b_{i,eff} \cdot d_i^3}{12} + E_{i,inst,d} \cdot A_i \cdot z_{i,inst,d}^2$	Eq. 2-47
ELU, t=∞	$EI_{i,fin,d} = \frac{E_{i,fin,d} \cdot b_{i,eff} \cdot d_i^3}{12} + E_{i,fin,d} \cdot A_i \cdot z_{i,fin,d}^2$	Eq. 2-48
ELS, t=0	$EI_{i,inst} = \frac{E_{i,inst} \cdot b_{i,eff} \cdot d_i^3}{12} + E_{i,inst} \cdot A_i \cdot z_{i,inst}^2$	Eq. 2-49
ELS creep	$EI_{i,creep} = \frac{E_{i,creep} \cdot b_{i,eff} \cdot d_i^3}{12} + E_{i,creep} \cdot A_i \cdot z_{i,creep}^2$	Eq. 2-50

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

$$EI_{eff} = \sum_i EI_i \quad \text{Eq. 2-51}$$

Un exemple de calcul de rigidité en flexion est présenté en Annexe 1.

### 2.2.10.3. Rigidité en cisaillement

Actuellement, il n'existe pas de solution analytique exacte pour un coefficient de cisaillement correctif connu. Une solution approximative est donnée dans l'équation suivante. Cette équation provient d'une analyse appropriée contenant la même liste de paramètres - élaborée à l'université technique de Graz (TU-Graz).

$$\kappa = \frac{1}{1.20} - 0.25 \cdot \frac{\left(\frac{b_{ef}}{b_{rib}}\right)^{0.70}}{\left(\frac{h_{rib}}{t_{CLT,tot}}\right)^{0.50}} \quad \text{Eq. 2-52}$$

Avec :

- $\kappa$  Coefficient de cisaillement correctif
- $b_{ef}$  Largeur efficace du panneau CLT
- $b_{rib}$  Largeur de la nervure
- $h_{rib}$  Hauteur de la nervure
- $t_{CLT,tot}$  Epaisseur du panneau CLT

Rigidité en cisaillement :

$$(GA)_{eff} = \kappa \cdot \sum_i G_i \cdot A_i \quad \text{Eq. 2-53}$$

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	$(GA)_{eff} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,inst,d} \cdot A_i$	Eq. 2-54
ELU, t=∞	$(GA)_{eff} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,fin,d} \cdot A_i$	Eq. 2-55
ELS, t=0	$(GA)_{eff} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,inst} \cdot A_i$	Eq. 2-56
ELS creep	$(GA)_{eff} = \kappa \cdot \sum_i G_{i,creep} \cdot A_i$	Eq. 2-57

### 2.2.11. Dimensionnement aux états limites ultimes – Combinaisons de charges

Pour le dimensionnement aux états limites ultimes (ELU), les combinaisons de charges applicables, selon la norme NF EN 1990, chapitre 6.4.3 doivent être appliquées.

Le caisson nervuré CLT rib panel peut uniquement être soumis à une charge statique, par exemple :

- Charge permanente ;
- Charge d'exploitation ;
- Charge de neige ;
- Pression du sol.

Et à un chargement quasi statique (chargement dérivé d'actions dynamiques, mais appliqué au système en tant que force statique) :

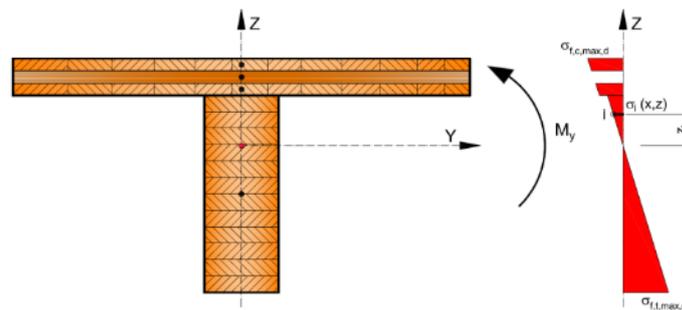
- Charge de vent (selon NF EN 1991-4) ;
- Charge sismique (selon NF EN 1998-1).

Dans les zones sismiques, le facteur de comportement des caissons nervurés utilisé pour le dimensionnement est limité aux structures non dissipatives ou faiblement dissipatives ( $q \leq 1,5$ ), 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.

### 2.2.12. Résistance en flexion

Contrainte normale dans la section :

**Figure 2-21: Distribution de contrainte (Gerhard Schickhofer, 2012)**



Si la section est entièrement sous l'effet de charges qui s'appliquent en dehors du plan (perpendiculaire au panneau CLT) qui causent une réaction de flexion sur le caisson nervuré, la contrainte normale dans la section sera calculée comme suit :

$$\sigma_i(x, z) = \frac{E_i \cdot z_i \cdot M_y(x)}{EI_{eff}} \quad \text{Eq. 2-58}$$

Avec :

- $\sigma_i(x, z)$  Contrainte normale à la localisation  $x$  du caisson nervuré et à une coordonnée  $z$  de la section.
- $E_i$  Module d'élasticité à une coordonnée  $z$
- $M_y(x)$  Moment de flexion  $M_y$  à la localisation  $x$  du caisson nervuré
- $z_i$  Coordonnée  $z$  du point « i » où la contrainte est analysée
- $EI_{eff}$  Rigidité efficace en flexion

L'analyse des contraintes doit être effectuée au niveau de la fibre extrême supérieure et inférieure du CLT et de la nervure.

L'analyse des contraintes doit être effectuée conformément à la norme NF EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004), item 9.1.1

#### 2.2.12.1. Analyse de la contrainte normale

Dans le cas où une variation linéaire des déformations selon la hauteur de la section est supposée, il convient que les contraintes normales en parties supérieures (compression) et inférieures (traction) satisfassent les équations suivantes (NF EN 1995-1-1:2004, section 9) :

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d} \quad \text{Eq. 2-59}$$

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad \text{Eq. 2-60}$$

Par conséquent,

$$\sigma_i(x, z) \leq f_{m,d} \quad \text{Eq. 2-61}$$

Avec :

- $\sigma_{f,c,max,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de compression en fibre extrême de la membrure ;
- $\sigma_{f,t,max,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de traction en fibre extrême de l'âme ;
- $f_{m,d}$  Valeur de calcul de la résistance en flexion.

Dans le même temps, les exigences suivantes selon la norme NF EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004), chapitre 9.1.1 doivent être remplies :

L'exigence est illustrée graphiquement, en utilisant une section de caisson nervuré, comme indiqué dans la Figure 2-21.

La partie de la section en compression doit être vérifiée en respectant la condition suivante :

$$\sigma_{f,c,i,d} \leq f_{c,0,d} \quad \text{Eq. 2-62}$$

Avec :

- $\sigma_{f,c,i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la section partielle i ;
- $f_{c,0,d}$  Valeur de calcul de la résistance en compression dans le sens du fil.
- 

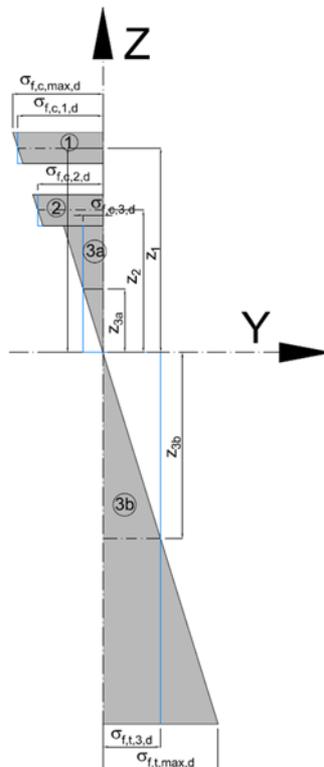
La partie de la section en traction doit être vérifiée en respectant la condition suivante :

$$\sigma_{f,t,i,d} \leq f_{t,0,d} \quad \text{Eq. 2-63}$$

Avec :

- $\sigma_{f,t,i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de traction dans la section partielle i ;
- $f_{t,0,d}$  Valeur de calcul de la résistance en traction dans le sens du fil.

**Figure 2-22 : Distribution de contrainte**



### 2.2.12.2. Contraintes combinées

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

**Contrainte de flexion et normale en traction :**

$$\frac{\sigma_{t,i,d}}{f_{t,i,d}} + \frac{\sigma_{m,i,d}}{f_{m,i,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 2-64}$$

Avec :

- $\sigma_{t,i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de traction dans la section partielle i ;
- $f_{t,i,d}$  Valeur de calcul de la résistance en traction de la section partielle i ;
- $\sigma_{m,i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de flexion de la section partielle i ;
- $f_{m,i,d}$  Valeur de calcul de la résistance en flexion de la section partielle i.

**Contrainte de flexion et normale en compression :**

$$\left( \frac{\sigma_{c,i,d}}{f_{c,i,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,i,d}}{f_{m,i,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 2-65}$$

Avec :

- $\sigma_{c,i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la section partielle i ;
- $f_{c,i,d}$  Valeur de calcul de la résistance en compression de la section partielle i ;
- $\sigma_{m,i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de flexion de la section partielle i ;
- $f_{m,i,d}$  Valeur de calcul de la résistance en flexion de la section partielle i.

**La résistance à la flexion doit être analysée de la manière suivante :**

$$f_{CLT,m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{CLT,m,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-66}$$

Avec :

- $f_{CLT,m,d}$  Valeur de calcul de la résistance en flexion du CLT ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{CLT,m,k}$  Valeur caractéristique de la résistance en flexion du CLT en accord avec l'ETA (Engineering, 2014) ;
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (NF EN 1995-1-1, Table 2.3) En Autriche : EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4 propose  $\gamma_{m,CLT} = 1,25$ .

$$f_{GLT,m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{GLT,m,k} \cdot k_h}{\gamma_{m,GLT}} \quad \text{Eq. 2-67}$$

Avec :

- $f_{GLT,m,d}$  Valeur de calcul de la résistance en flexion du lamellé-collé ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{GLT,m,k}$  Valeur caractéristique de la résistance en flexion du lamellé-collé en accord avec l'EN 14080 ;
- $k_h$  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 :**

$$f_{CLT,t,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{CLT,t,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-68}$$

Avec :

- $f_{CLT,t,d}$  Valeur de calcul de la résistance en traction du CLT ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{CLT,t,k}$  Valeur caractéristique de la résistance en traction en accord avec l'ETA (Engineering, 2014) ;
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (EN 1995-1-1, Table 2.3) En Autriche: EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4 propose  $\gamma_{m,CLT} = 1,25$ .

$$f_{GLT,t,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{GLT,t,k} \cdot k_h}{\gamma_{m,GLT}} \quad \text{Eq. 2-69}$$

Avec :

- $f_{GLT,t,d}$  Valeur de calcul de la résistance en traction du lamellé-collé ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.) ;
- $f_{GLT,t,k}$  Valeur caractéristique de la résistance en traction du lamellé-collé en accord avec la norme NF EN 14080 ;
- $k_h$  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 compression doit être analysée comme suit :**

$$f_{CLT,c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{CLT,c,0,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-70}$$

Avec :

- $f_{CLT,c,0,d}$  Valeur de calcul de la résistance en compression du CLT ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{CLT,c,0,k}$  Valeur caractéristique de la résistance en compression en accord avec l'ETA (Engineering, 2014) ;

- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (NF EN 1995-1-1, Table 2.3) En Autriche : EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4, il est proposé 1,25.

$$f_{GLT,c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{GLT,c,0,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-71}$$

Avec :

- $f_{GLT,c,0,d}$  Valeur de calcul de la résistance en compression du lamellé-collé ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{GLT,c,0,k}$  Valeur caractéristique de la résistance en compression du lamellé-collé en accord avec la norme NF EN 14080 ;
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du lamellé-collé (NF EN 1995-1-1, Table 2.3).

### 2.2.12.2.1. Stabilité – flambement des éléments en compression

Les conditions en accord avec la norme NF EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004), partie 6.3.2 (3) doivent être remplies.

Cela s'applique au CLT et également à la nervure lamellé-collé.

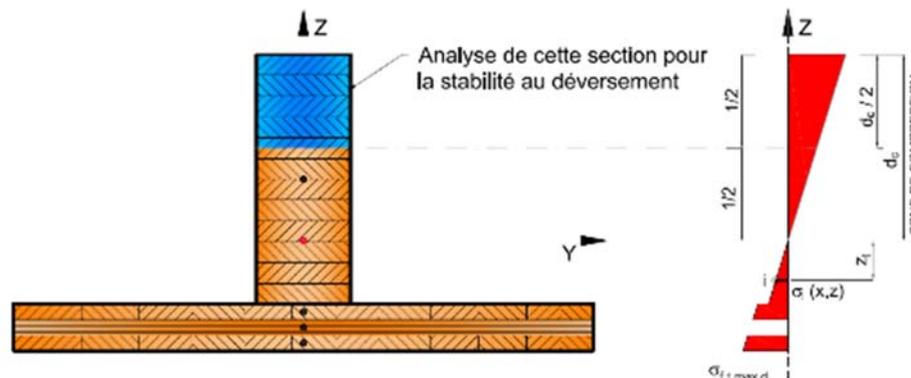
#### 2.2.12.2.1.1. Caisson nervuré CLT rib panel fermé et CLT rib panel ouvert – CLT au-dessus des nervures

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

#### 2.2.12.2.1.2. Caisson nervuré CLT rib panel inversé avec CLT au-dessous des nervures

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, il est suffisant de mener une analyse de la stabilité (déversement) selon EN 1995-1-1 (Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design wo timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, 2004) partie 6.3.2 (3) pour l'extrême moitié de la zone de compression (en bleu) comme indiqué dans la figure ci-dessous :

Figure 2-23: Section à prendre pour l'analyse au déversement



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

Pour la majorité des cas, la partie supérieure des nervures sera recouverte par un panneau contreventé (tous matériaux référencés dans le DTU 31.2). De ce fait, aucun déversement ne se produira.

### 2.2.13. Résistance au cisaillement

L'analyse du cisaillement doit être effectuée à différentes localisations :

- C.O.G (Centre de gravité) ;
- Joint de colle entre la nervure et le panneau CLT ;
- Joint de colle dans le panneau CLT, entre la couche extérieure qui est fixée à une nervure et sa couche transversale (perpendiculaire à la direction principale). Il s'agit du joint de collage CLT le plus proche du COG. La largeur efficace pour le cisaillement roulant à ce point est décrite dans la partie 2.2.10.1.3 ;

Cette vérification du cisaillement doit s'effectuer selon plusieurs largeurs efficace  $b_{ef}$  :

- En chargement continu (au niveau de la nervure) ;
- En chargement ponctuel (au niveau des appuis).

Les formules de calcul de largeurs efficaces sont explicitées en partie 2.2.10.1.2 et 2.2.10.1.3.

Dans chaque cas de largeur efficace, la vérification au cisaillement se fait de la manière suivante :

- Calcul de la rigidité efficace  $(EI)_{ef}$
- Calcul des contraintes de cisaillement  $\tau(z)_d$  aux trois localisations énoncées précédemment
- Calcul des contraintes de cisaillement coplanaires selon les différents modes, présentés en partie suivante.

Ces vérifications se font à  $t=0$  et  $t=\infty$ .

Figure 2-24: Localisations à considérer pour la vérification au cisaillement des sections en T et L

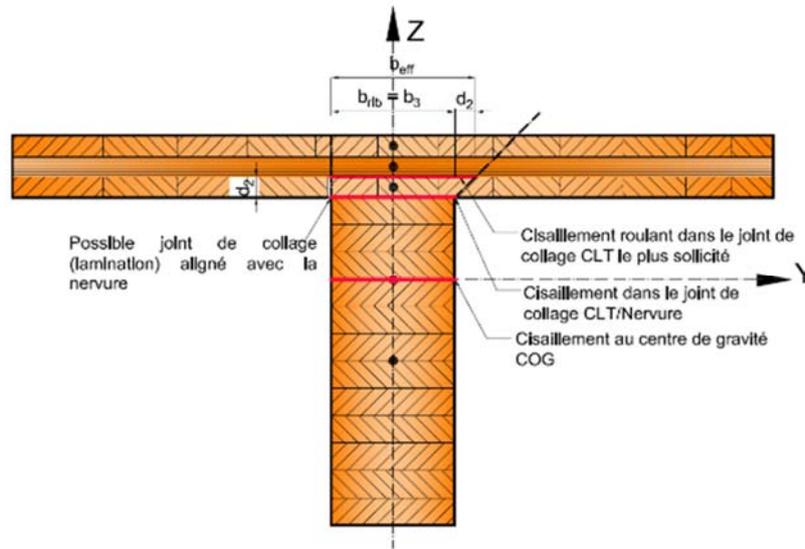
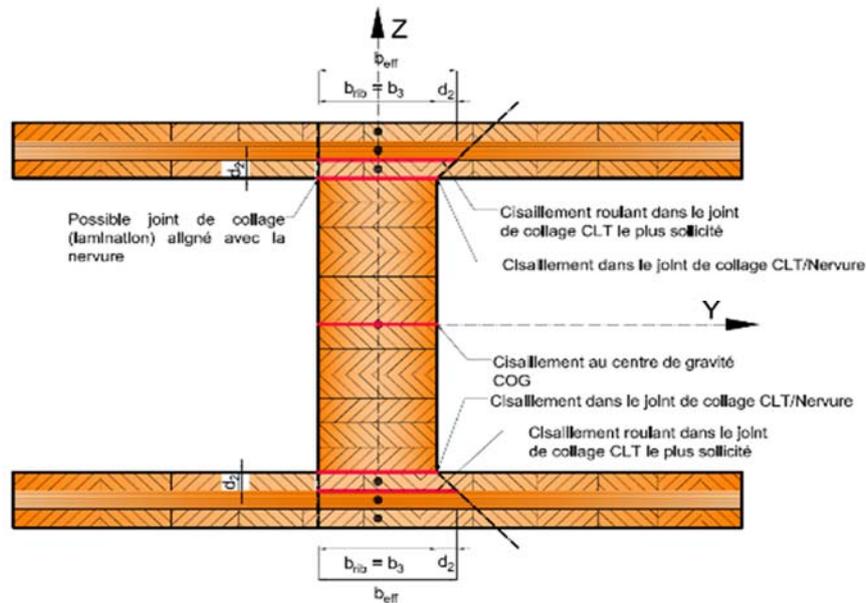


Figure 2-25: Localisations à considérer pour la vérification au cisaillement des sections en I et C



### 2.2.13.1. Contraintes de cisaillement

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

$$\tau_{i,d} \leq f_{v,0,GLT,d} \quad \text{Eq. 2-72}$$

Avec

$$f_{v,0,GLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{cr} \cdot f_{v,0,GLT,k}}{\gamma_{m,GLT}} \quad \text{Eq. 2-73}$$

Avec :

- $\tau_{i,d}$  Valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à un point « i » de la section, localisée dans la nervure en lamellé-collé ;
- $f_{v,0,GLT,k}$  Valeur de calcul de la résistance au cisaillement pour le lamellé-collé (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013) ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $k_{cr}$  Coefficient de fissure NF EN 1995-1-1 [1], partie 6.1.7 ;
- $f_{v,0,GLT,k}$  Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement du lamellé-collé en accord avec NF EN 14080 (Standardization, EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements, 2013) ;
- $\gamma_{m,GLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du lamellé-collé (NF EN 1995-1-1, Table 2.3).

**Les contraintes de cisaillement doivent satisfaire les exigences suivantes au niveau des panneaux CLT :**

$$\tau_{i,d} \leq f_{v,0,CLT,d} \quad \text{Eq. 2-74}$$

$$f_{v,0,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,0,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-75}$$

Avec :

- $f_{v,0,CLT,d}$  Valeur de calcul de la résistance au cisaillement du CLT ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{v,0,CLT,k}$  Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement du CLT en accord avec l'ETA (Engineering, 2014) ;
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT (NF EN 1995-1-1, Table 2.3) En Autriche : EN 1995-1-1 NA, chapitre K.2.4 propose  $\gamma_{m,CLT} = 1,25$ .

$$\tau_{i,R,d} \leq f_{R,CLT,d} \quad \text{Eq. 2-76}$$

$$f_{R,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{R,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-77}$$

Avec :

- $f_{R,CLT,d}$  Valeur de calcul de la résistance au cisaillement roulant du CLT ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{R,CLT,k}$  Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement roulant du CLT en accord avec l'ETA (Engineering, 2014) ;
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT.

**2.2.13.2. Cisaillement du joint de collage**

Comme mentionné dans le chapitre 2.2.13, la contrainte de cisaillement doit être analysée au niveau du joint de collage entre le panneau CLT et la nervure. Des tests ont démontré que la résistance au cisaillement du joint de collage est plus élevée que celle du bois et que la rupture en cisaillement ne se produira pas directement dans le joint de colle, mais dans la partie bois adjacente au joint en cisaillement parallèle au fil.

Par conséquent, il est supposé que la résistance au cisaillement dans le joint soit suffisante si les exigences de calcul du point 2.2.13.1 sont satisfaites.

**2.2.13.3. Calcul des contraintes de cisaillement**

Les contraintes de cisaillement doivent être calculées au niveau des localisations données en Figure 2-25.

Le calcul de contrainte de cisaillement s'effectue à différentes localisations de coordonnée z suivant la formule suivante :

$$\tau(z)_d = E_i \cdot \frac{S_y(z) \cdot V_{z,d}}{E I_{y,ef} \cdot b(z)} \quad \text{Eq. 2-78}$$

Avec :

- $\tau(z)_d$  Contrainte de cisaillement à une coordonnée "z" [N/mm<sup>2</sup>] ;
- $E_i$  Module d'élasticité de la couche/de la nervure respective – voir Tableau 10-2 ;
- $S_y(z)$  Moment statique à une coordonné "z", par rapport à l'axe Y [mm<sup>3</sup>] ;
- $V_{z,d}$  Effort tranchant agissant sur le panneau (force de cisaillement [N]) ;
- $I_{y,ef}$  Moment d'inertie efficace par rapport à l'axe Y [mm<sup>4</sup>] ;
- $b(z)$  Largeur de la section à une coordonnée "z".

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

$$S_y(z) = \sum_i A_i \cdot e_{z,i} \quad \text{Eq. 2-79}$$

Avec :

- $A_i$  Aire de la section partielle "i" [mm<sup>2</sup>] ;
- $e_{z,i}$  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].

Au niveau du centre de gravité de la section complète

$$S_{y,COG} = b_{GLT} \cdot z_s \quad \text{Eq. 2-80}$$

Avec :

- $S_{y,COG}$  Moment statique à la coordonnée du centre de gravité "z<sub>s</sub>", par rapport à l'axe Y [mm<sup>3</sup>] ;
- $b_{GLT}$  Largeur de la section de la nervure en lamellé collé [mm]

- $z_s$  Coordonnée du centre de gravité de la section entière [mm]

### A l'interface CLT-Lamellé collé

$$S_{y,interface} = b_{GLT} \cdot h_{GLT} \cdot \left( \frac{h_{GLT}}{2} - Z_s \right) \quad \text{Eq. 2-81}$$

Avec :

- $S_{y,interface}$  Moment statique à la coordonné de l'interface CLT/lamellé collé, par rapport à l'axe Y [mm<sup>3</sup>] ;
- $b_{GLT}$  Largeur de la nervure en lamellé collé [mm]
- $h_{GLT}$  Hauteur de la nervure en lamellé collé [mm]
- $z_s$  Coordonnée du centre de gravité de la section entière [mm]

### A l'interface des couches 2 et 3 du panneau CLT (3 couches)

Celui-ci permettra de calculer la contrainte de cisaillement roulant au niveau du joint de colle entre les couches de CLT 2 et 3 (dans le cas d'un panneau de 3 couches). Plus précisément, on calcule la contrainte de cisaillement au niveau du joint de colle entre planches le plus proche du centre de gravité car c'est à cette localisation que la contrainte sera la plus importante.

Etant donné que la contrainte de cisaillement dans les couches transversale du CLT est constante, on peut calculer le moment statique de la manière suivante :

$$S_{y,r} = b_{CLT1} \cdot h_{CLT1} \cdot \left( \frac{h_{CLT1}}{2} - (h_{tot} - Z_s) \right) \quad \text{Eq. 2-82}$$

Avec :

- $S_{y,r}$  Moment statique à la coordonné du joint de colle entre planches le plus proche du centre de gravité, par rapport à l'axe Y [mm<sup>3</sup>] ;
- $b_{CLT1}$  Largeur de la couche de CLT 1 [mm]
- $h_{CLT1}$  Epaisseur de la couche de CLT 1 considérée [mm]
- $h_{tot}$  Hauteur de la section totale [mm]

#### 2.2.13.4. Contrainte de cisaillement coplanaire dans les panneaux CLT

La contrainte de cisaillement dans le plan du panneau CLT doit être analysée pour trois modes de rupture :

La vérification consiste à ne s'assurer qu'aucun des trois modes de rupture possibles n'est atteint à l'E.L.U. :

- Cisaillement du panneau entier en section brute (Mode I) ;
- Cisaillement du panneau entier en section nette (Mode II) ;
- Cisaillement au croisement des planches collées entre plis (Mode III).

##### 2.2.13.4.1. Diaphragme de plancher en panneaux CLT Stora Enso

Une structure de plancher en panneaux CLT Stora Enso peut être considérée comme une plaque rigide. Elle répartit les charges qui s'exercent au-dessus des éléments de contreventement verticaux. Les éléments de contreventement verticaux en question peuvent être des plaques murales de raidissement (murs en panneaux CLT Stora Enso par exemple) ou des structures de type portique en acier ou en bois. Il faudra procéder à des calculs afin de vérifier que les assemblages sont résistants et que les efforts exercés par le panneau du plancher sont bien transmis vers les éléments de contreventement. (Voir chapitre 2.2.13.5).

##### 2.2.13.4.2. Cisaillement du panneau entier en section brute (mode de rupture I)

Une des vérifications en cisaillement à effectuer est le cisaillement de la section brute du panneau CLT. La contrainte de cisaillement se calcul comme décrit ci-dessous :

$$\tau_{1,d} = \frac{V_d}{b \cdot t} \quad \text{Eq. 2-83}$$

Avec :

- $V_d$  Effort tranchant agissant sur le panneau [N]
- $b$  Largeur du panneau [mm]
- $t$  Epaisseur totale du panneau [mm]

Cette vérification au niveau de la section brute (globale) du panneau est décrite dans l'Avis Technique du CLT Stora Enso.

##### 2.2.13.4.3. Cisaillement du panneau entier en section nette (mode de rupture II)

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 le résultat de la largeur d'une planche et de l'écart supplémentaire possible au niveau du joint entre les planches dans la même direction. L'épaisseur de chaque RVE du panneau est égale à l'épaisseur totale du panneau CLT.

La vérification au cisaillement est exécutée sur un élément de volume représentatif (RVE) qui conduit à un élément de sous-volume représentatif (RVSE)) (Thomas Bogensperger, 2010).

Figure 2-26 : RVSE

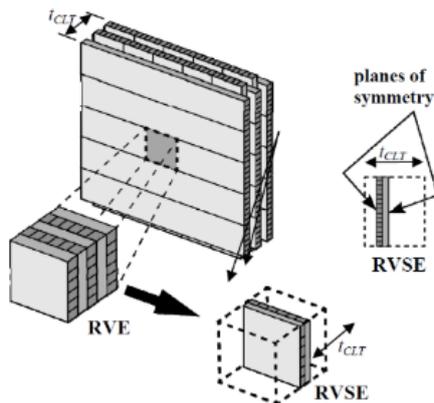


Figure 2-27 : Contrainte de cisaillement nominale  $\tau_0$  dans RVSE

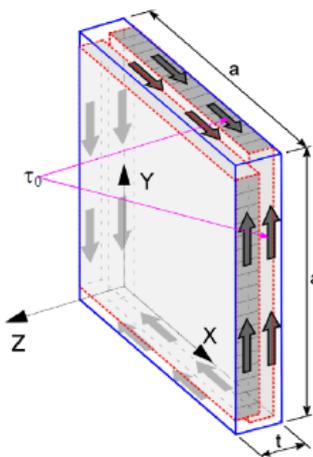
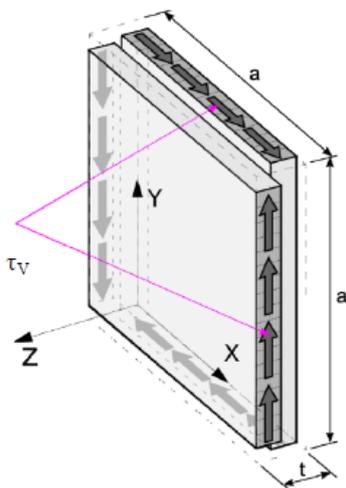


Figure 2-28 : Distribution de contrainte de cisaillement réelle  $\tau_v$  dans RSVE



Etant donné qu'un sous-volume représentatif (RSVE) fait partie d'une séquence infinie de RVSE, il n'est pas possible d'établir une force de cisaillement globale  $n_{xy}$  dans ce cas théorique. Il est seulement possible de calculer une force de cisaillement proportionnelle  $n_{xy, RVSE}$ , qui agit dans un seul RVSE. La contrainte de cisaillement nominale  $\tau_0$ , associée à ce volume peut être calculée avec l'équation suivante :

$$\tau_0 = \frac{n_{xy, RVSE}}{a \cdot t} \quad \text{Eq. 2-84}$$

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]
- $\tau_0$  Contrainte nominale de cisaillement [N/mm<sup>2</sup>]

La contrainte de cisaillement nominale  $\tau_0$  ne prend pas en compte la structure interne de l'élément CLT. Les contraintes de cisaillement  $\tau_0$  agissent à la fois sur les sections transversales et les faces des planches.

Jusqu'à présent, la structure interne de CLT reste inconsiderée. Dans un élément CLT, les forces de cisaillement ne sont transmises que par les sections transversales perpendiculaires au grain, d'un RVSE à l'autre. Un moment de torsion interne, agissant sur les deux côtés de l'interface de collage, élimine toutes les contraintes de cisaillement, situées sur les faces des planches. Des contraintes de cisaillement simultanées, situées dans les zones de section transversale, sont doublées. La situation de contrainte finale dans un élément CLT est illustrée en Figure 2-28 : Distribution de contrainte de cisaillement réelle  $\tau_v$  dans RVSE.

Les contraintes de cisaillement  $\tau_v$  d'un RVSE dans les zones de section transversale peuvent être calculées avec l'équation Eq. 2-85.

$$\tau_v = 2 \cdot \tau_0 \quad \text{Eq. 2-85}$$

Avec :

- $\tau_v$  Contrainte de cisaillement réelle dans le volume RVSE [N/mm<sup>2</sup>]
- $\tau_0$  Contrainte nominale de cisaillement [N/mm<sup>2</sup>]

La contrainte nominale  $\tau_0$  ne prend pas en compte la structure interne de l'élément CLT.

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

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,ip,CLT,d} \quad \text{Eq. 2-86}$$

$$f_{v,ip,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,ip,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-87}$$

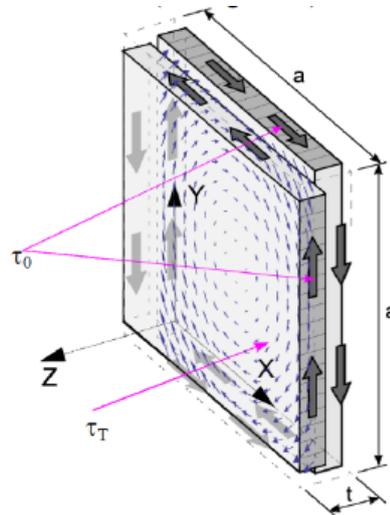
Avec :

- $f_{v,ip,CLT,d}$  Valeur de calcul de la résistance au cisaillement coplanaire du CLT. (ip : in-plane) ;
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (conformément à la norme NF EN 1995-1-1, Table 3.1) ;
- $f_{v,ip,CLT,k}$  Valeur caractéristique de la résistance au cisaillement coplanaire du CLT en accord avec (Blass, 2010) ;
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT,  $\gamma_{m,CLT} = 1,25$ .

#### 2.2.13.4.4. Cisaillement au croisement des planches collées entre plis (mode de rupture III)

Cette vérification doit être effectuée pour les contraintes de torsion dans l'interface de collage en raison du mode de rupture III.

*Figure 2-29: Contraintes de torsion due au cisaillement dans l'interface de collage du RSVE*



Le moment de torsion peut être calculé par la formule :

$$M_T = a^2 \cdot t \cdot \tau_0 \quad \text{Eq. 2-88}$$

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

$$\tau_T = \frac{M_T}{W_P} = \frac{\tau_0 \cdot t \cdot a^2}{\frac{a^3}{3}} = 3 \cdot \tau_0 \cdot \frac{t}{a} \quad \text{Eq. 2-89}$$

Avec :

- $\tau_0$  Contrainte nominale de cisaillement [N/mm<sup>2</sup>]
- $t$  Epaisseur de la section considérée [mm]
- $a$  Largeur d'une planche de la section considérée [mm]

$$\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{0,d} \cdot \frac{t_i^*}{a} \quad \text{Eq. 2-90}$$

Avec :

- $\tau_{T,d}$  Contrainte de torsion de calcul au niveau de l'interface de collage du RVSE (i) [N/mm<sup>2</sup>]
- $\tau_{0,d}$  Contrainte de cisaillement nominale de calcul, constante [N/mm<sup>2</sup>]
- $t_i^*$  Epaisseur du RVSE (i) considéré [mm]

$\tau_v$  et  $\tau_T$  sont les deux contraintes de cisaillement qui doivent être vérifiées. Les valeurs de calcul  $\tau_{v,d}$  et  $\tau_{T,d}$  sont calculées en utilisant la contrainte de calcul  $\tau_{0,d}$ .

**La contrainte de cisaillement coplanaire dans le panneau CLT doit satisfaire les exigences suivantes :**

$$\tau_{T,d} \leq f_{T,ip,CLT,d} \quad \text{Eq. 2-91}$$

$$f_{T,ip,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{T,ip,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} \quad \text{Eq. 2-92}$$

Avec :

- $f_{T,ip,CLT,d}$  Valeur de calcul de la résistance au cisaillement en torsion du CLT. (ip : in-plane)
- $k_{mod}$  Facteur modificatif (NF EN 1995-1-1, Table 3.1)
- $f_{T,ip,CLT,k}$  Valeur caractéristique de la résistance à la torsion (due au cisaillement coplanaire) du CLT en accord avec (Blass, 2010)
- $\gamma_{m,CLT}$  Coefficient partiel selon les propriétés du matériau CLT,  $\gamma_{m,CLT}=1,25$ .

#### 2.2.13.4.5. Force de cisaillement $n_{xy}$ dans le panneau CLT

Lorsqu'un élément CLT avec son nombre impair de plis est considéré, les différences suivantes au niveau du 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.

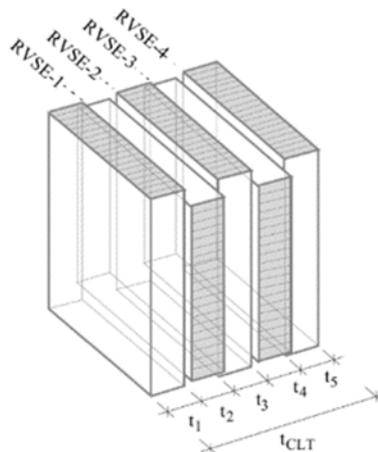
La vérification de l'élément CLT doit être effectuée en vérifiant une série de RVSE idéals, qui sont ajustés à l'élément CLT correspondant. Un RVSE idéal correspond à une interface de collage et aux deux lamelles voisines de l'élément CLT.

Reste la question de savoir quelle sera l'épaisseur du RVSE à considérer. Ici, une solution conservatrice est proposée. En vérifiant l'interface de collage "i" de l'élément CLT, il est supposé que l'épaisseur la plus fine des deux lamelles jointes est l'épaisseur à contrôler pour le RVSE "i".

Néanmoins, une exception peut être admise. Les lamelles au niveau des plis extérieurs, qui sont reliés à la première ou à la dernière interface de collage, sont collés 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 lamelles extérieures, soit l'épaisseur ordinaire des lamelles du pli intérieur, cette dernière étant la plus faible.

Un élément CLT à 5 couches est illustré dans Figure 2-30. Quatre RVSE idéals, reliés aux interfaces de collage, sont présentés. Les épaisseurs idéales pour chaque RVSE, notée  $t_i^*$ , peuvent être calculées comme indiqué dans le Tableau 2-4 : Epaisseurs de RVSE pour un élément CLT en 5 plis.

**Figure 2-30 : Idéal RVSE pour un élément CLT en 5 plis**



**Tableau 2-4 : Epaisseurs de RVSE pour un élément CLT en 5 plis**

# of RVSE	Ideal thickness $t_i^*$
1	$t_1^* = \min(2 t_1; t_2)$
2	$t_2^* = \min(t_2; t_3)$
3	$t_3^* = \min(t_3; t_4)$
4	$t_4^* = \min(t_4; 2 t_5)$

L'épaisseur totale de tous les RVSE est notée avec  $\Sigma t^*$  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 dans le cas d'éléments CLT à 3, 7 plis ou plus. Les épaisseurs idéales des deux RVSE sont données à titre d'exemple dans le Tableau 2-5 : Epaisseurs de RVSE pour un élément CLT en 3 plis

**Tableau 2-5 : Epaisseurs de RVSE pour un élément CLT en 3 plis**

# of RVSE	Ideal thickness $t_i^*$
1	$t_1^* = \min(2 t_1; t_2)$
2	$t_2^* = \min(t_2; 2 t_3)$

La force de cisaillement proportionnelle  $n_{xy,RVSE(i)}$  du  $i^{\text{ème}}$  RVSE dans un élément CLT à  $n$  couches peut être déterminée par l'équation suivante, qui suppose une participation de chaque RVSE liée à leur épaisseurs respectives en reprenant la force de cisaillement  $n_{xy}$ .

$$n_{xy,RVSE(i)}^* = n_{xy} \cdot \frac{t_i^*}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i^*} \quad \text{Eq. 2-93}$$

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  $\tau_0^*$  peut être calculée en divisant la force de cisaillement proportionnelle  $n_{xy,RVSE(i)}$  par l'épaisseur  $t_i^*$  du  $i^{\text{ème}}$  RVSE. Cela conduit à une contrainte de cisaillement nominale constante  $\tau_0^*$  pour tous les RVSE (voir Eq. 2-94).

$$\tau_{0,RVSE(i)}^* = \frac{n_{xy} \cdot \frac{t_i^*}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i^*}}{t_i^*} = \frac{n_{xy}}{\sum_{i=1}^{n-1} t_i^*} = \tau_{0,d}^* \quad \text{Eq. 2-94}$$

$$\tau_{V,d} = 2 \cdot \tau_{0,d}^* \quad \text{Eq. 2-95}$$

Avec :

- $\tau_{0,RVSE(i)}^*$  Contrainte de cisaillement nominale proportionnelle au RVSE (i) [N/mm<sup>2</sup>]
- $\tau_{0,d}^*$  Contrainte de cisaillement nominale de calcul, constante [N/mm<sup>2</sup>]
- $\tau_{V,d}$  Contrainte de cisaillement réelle de calcul [N/mm<sup>2</sup>]
- $t_i^*$  Epaisseur du RVSE (i) considéré [mm]

Les contraintes de cisaillement pour la vérification aux ELU peuvent être calculées de la même façon que pour le volume représentatif, présenté en Eq. 2-85. La contrainte de cisaillement nominale  $\tau_0$  doit être remplacée par la contrainte de cisaillement nominale idéale  $\tau_0^*$ , donnée dans l'équation Eq. 2-94.

Les contraintes de cisaillement  $\tau_{v,d}$  sont égales pour tous les volumes RVSE idéaux.

Comme les contraintes de torsion  $\tau_{T,d}$  dépendent du rapport (t/a), on peut conclure que le volume représentatif RVSE à contrôler est le plus épais.

### 2.2.13.5. Utilisation en zone sismique

Si les panneaux « CLT rib panel by Stora Enso » se trouvent dans une zone à risque sismique nécessitant une évaluation de la performance sous sollicitations sismiques, il convient alors d'appliquer les règles spécifiques à la NF EN 1998-1 et son annexe nationale.

#### 2.2.13.5.1. Dimensionnement des « CLT rib panel by Stora Enso » au séisme

##### 2.2.13.5.1.1. Principes généraux

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux CLT RIB PANEL doit être menée en suivant le principe de comportement de structure faiblement dissipatif (Classe de ductilité L) conformément à NF EN 1998-1-1 (cf. §8.1.3 et §8.6 (2)P). Les effets des actions sont calculés sur la base de 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. Le spectre de calcul est déterminé à partir du spectre en appliquant un coefficient de comportement  $q=1,5$  pour la classe DCL.

Les critères de régularité en plan de la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §4.2.3) doivent être strictement respectés et faire l'objet d'une vérification.

Les coefficients de conversion correspondant à une classe de durée de chargement instantanée sont appliqués.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux CLT RIB PANEL utilisés sont organisés afin d'observer les points suivants :

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- 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 déterminée ;
- Par calcul la fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits ;
- Assurer la continuité du chaînage 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 à minima une vis tous les 15 cm. La couture entre plancher et mur doit impérativement être réalisée par l'intermédiaire d'une lisse de chaînage continue assurant la répartition des efforts.

#### 2.2.13.5.1.2. Action sismique

La valeur de calcul correspondant à la contrainte exercée  $E_d$  pour l'état limite de la capacité de charge doit être déterminée selon la norme EN 1990, section 6.4.3.4 Combinaisons d'actions pour les situations de projet sismiques, la norme EN 1998-1, section 4.2.4 Coefficients de combinaison pour les actions variables. L'intensité totale du séisme ainsi que les actions sismiques directes sur l'ossature porteuse sont à déterminer selon la norme EN 1998-1, section 4.3.3 Méthodes d'analyse. On choisira la méthode de calcul la plus adaptée en fonction des caractéristiques du bâtiment. La force exercée par les composants est répartie et positionnée sur le bâtiment, conformément à la méthode de calcul utilisées.

#### 2.2.13.5.1.3. Connexion d'un caisson nervuré à une structure adjacente

Les assemblages par collage ne sont pas à considérer 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 le CLT et la nervure n'a pas été testé sous charge cyclique, le transfert de cisaillement du diaphragme au mur se fera de manière à transiter les efforts du plancher CLT au mur directement.

Lorsque le « CLT rib panel by Stora Enso » s'appuie directement sur les murs, le transfert se fait premièrement du plancher CLT au mur via des équerres métalliques, puis à la nervure en lamellé-collé du dessous via une plaque métallique perforée par exemple.

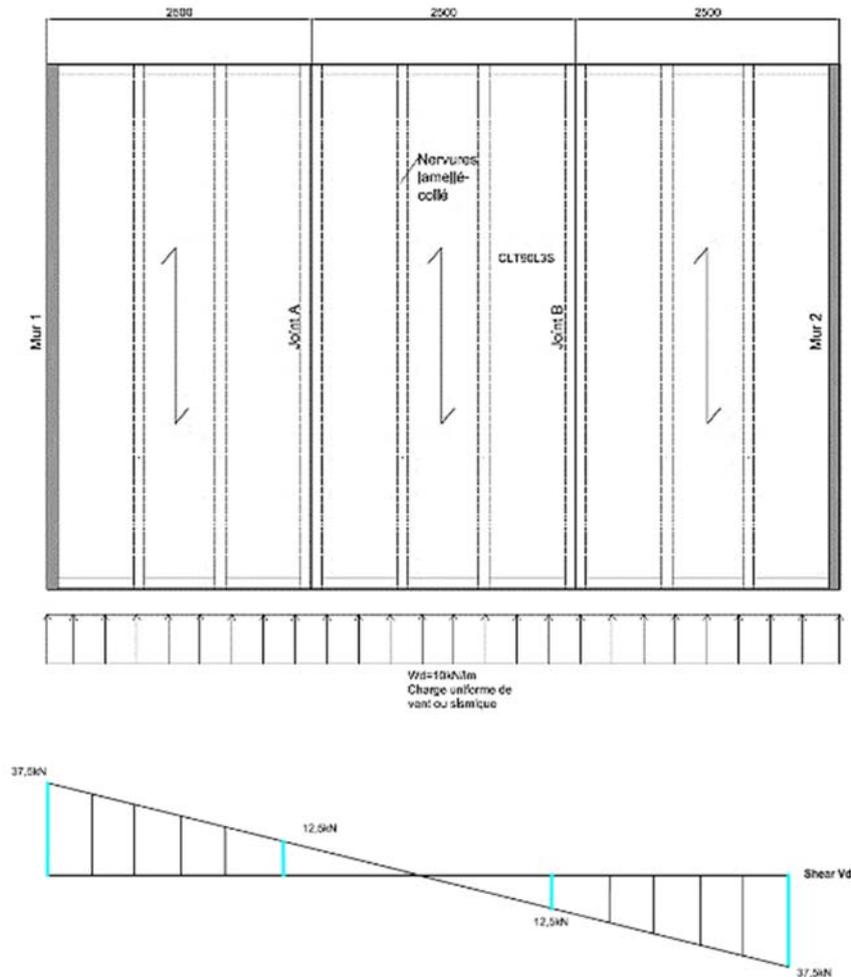
Pour finir, le transfert de la nervure en lamellé collé au mur inférieur sur lequel elle repose peut quant à lui se faire soit via des plaques perforées, soit par des vis inclinées (Voir Figure 2-54 et Figure 2-56) qui reprendront le cisaillement.

Dans cette configuration, le transfert des efforts ne peut être effectué en utilisant le joint de colle.

Lorsque le CLT RIB PANEL s'arrête au niveau de la face du mur avec un support métallique (sabot, étrier en âme...), la reprise des efforts horizontaux se fait directement du panneau CLT au mur via des équerres de cisaillement comme pour un panneau CLT standard. (Voir Figure 2-55 et Figure 59).

Seules les connexions ayant montrées leur aptitude à la reprise des efforts sismiques (comportement adapté à la fatigue oligo-cyclique) peuvent être utilisées.

Figure 2-31 : Exemple de plancher CLT rib panel en application diaphragme avec diagramme de l'effort tranchant associé.



Les diaphragmes de plancher se composent de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur comme dans l'exemple. 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 (A et B pour l'exemple ci-dessus) et les murs latéraux (1 et 2 dans l'exemple ci-dessus).

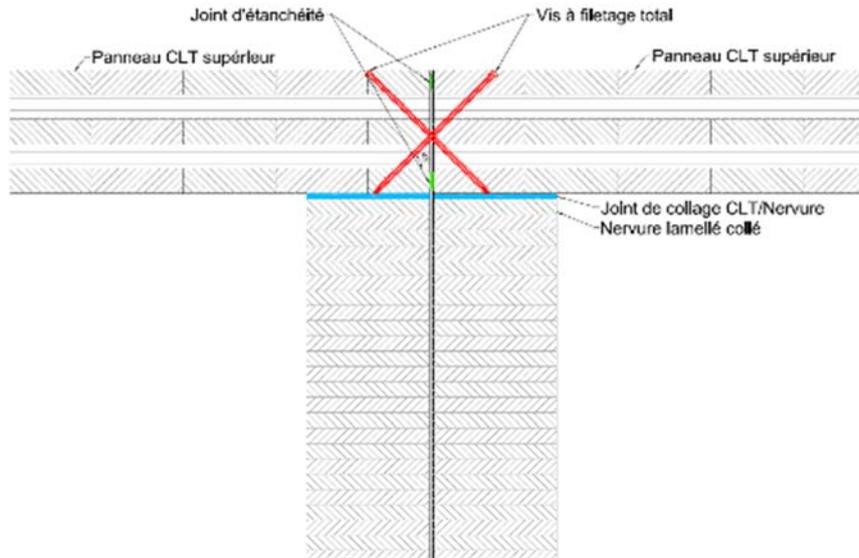
La valeur des efforts à transmettre par ces assemblages est calculée en modélisant le diaphragme de plancher comme une poutre orientée perpendiculairement aux efforts horizontaux. Le diagramme des efforts tranchants dans cette poutre peut être déterminé et les valeurs des réactions « aux appuis » de cette poutre correspondent aux efforts transmis aux murs supérieurs et inférieurs.

Par ailleurs, l'effort horizontal  $W_d$  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.

La Figure 2-32 montre une connexion typique entre deux CLT rib panel. La connexion doit être faite entre les panneaux CLT et doit être effectuée avec des vis à filetage total du type « Rothoblast VGZ ». La connexion vissée doit être réalisée en diagonale, avec les vis de chaque côté du joint. La connexion doit être conçue de telle sorte que toutes les forces de cisaillement applicables dans le plan du CLT et / ou hors du plan du CLT puissent être transférées. (Le dimensionnement des connecteurs au niveau des joints entre « CLT rib panel by Stora Enso » peut être effectué via le logiciel de calcul « CALCULATIS by Stora Enso »).

**Figure 2-32 : Connexion à une structure adjacente par vis diagonales**

Les assemblages en languette et mi-bois au niveau du panneau CLT ne sont pas présentés dans ce document dû au fait que les éléments CLT RIB PANEL de Stora Enso sont toujours fournis avec une nervure en rive. La section (épaisseur) de CLT au niveau des appuis ne doit pas être réduite, afin de garantir la résistance mécanique à ce point de transfert CLT/Nervure.

La conception des vis doit être conforme à l'ETA applicable.

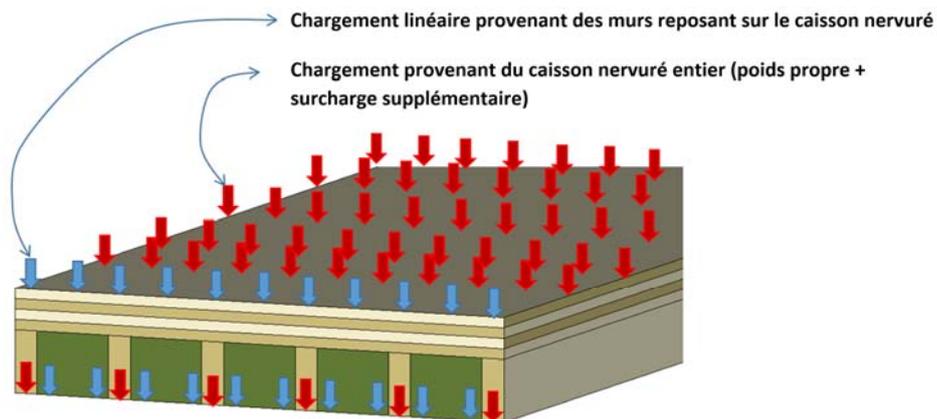
#### 2.2.14. Dimensionnement des appuis simples avec entretoises

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

Le présent chapitre décrit le dimensionnement au niveau des appuis des caissons nervurés CLT Rib Panel soumis à une pression perpendiculaire aux fibres.

En raison de la rigidité des nervures, toute la charge provenant du caisson nervuré entier (poids propre + toute surcharge supplémentaire) est dirigée vers les appuis à travers la surface porteuse des nervures (flèches rouges).

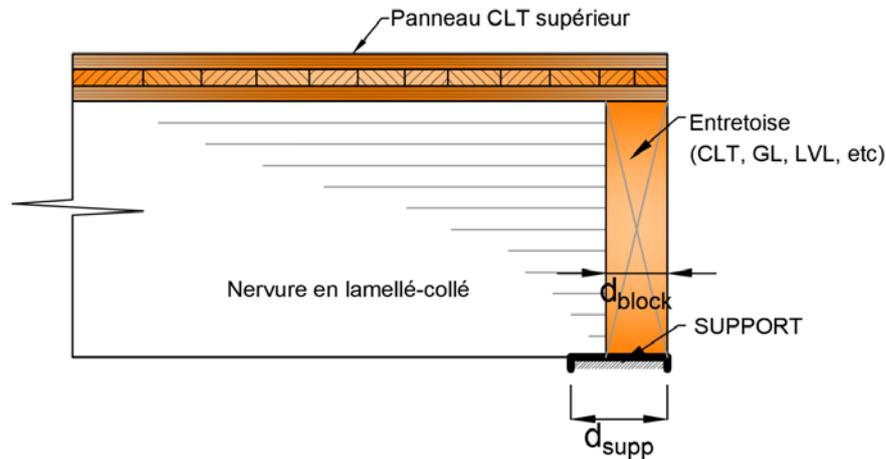
Tout chargement linéaire de mur donné, reposant sur le dessus du caisson nervuré sera dirigé et transmis à travers les entretoises entre les nervures dans les appuis (flèches bleues). Dans le cas où un mur repose sur le dessus du caisson nervuré au niveau de la ligne d'appuis, les entretoises entre nervures sont obligatoires pour reprendre la compression de manière uniforme.

**Figure 2-33: Distribution des charges au niveau des appuis du caisson nervuré**

##### 2.2.14.1. Compression perpendiculaire au fil transférée à travers les nervures

#### Open type : CLT au-dessus

Figure 2-34 : Support de caisson nervuré - CLT au-dessus des nervures



Dans le cas d'un caisson nervuré avec le panneau CLT au-dessus des nervures, les équations suivantes doivent être satisfaites pour les nervures :

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,GLT,d} \quad \text{Eq. 2-96}$$

Avec :

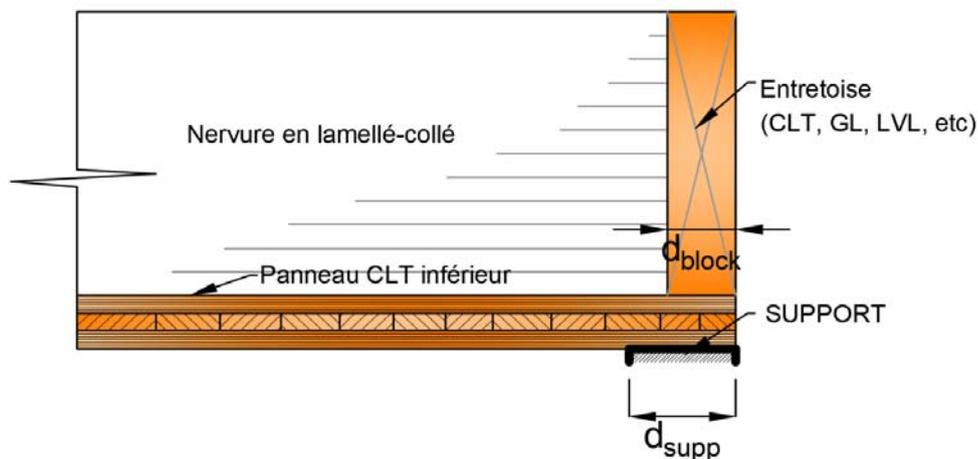
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_d}{b_{rib} \cdot (d_{supp} + 30\text{mm})} \quad \text{Eq. 2-97}$$

Avec :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact efficace perpendiculaire au fil [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
$k_{c,90}$	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 (CEN European Committee for Standardization, 2004), chapitre 6.1.5 (4). [-]
$f_{c,90,GLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
$F_d$	Valeur de calcul de la réaction au niveau de l'appui, provenant du panneau et des charges qui y sont appliquées [N]
$b_{rib}$	Largeur de la nervure [mm]
$(d_{supp} + 30\text{mm})$	Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec la norme EN 1995-1-1 (CEN European Committee for Standardization, 2004), partie 6.1.5 (1) [mm].

### Inverted/Closed type : CLT au-dessous

Figure 2-35: Support de caisson nervuré - CLT au-dessous des nervures



Dans le cas d'un caisson nervuré Inverted/Closed type, les équations suivantes au niveau du panneau CLT inférieur doivent être satisfaites :

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \quad \text{Eq. 2-98}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_d}{b_{rib} \cdot (d_{supp} + 30mm)} \quad \text{Eq. 2-99}$$

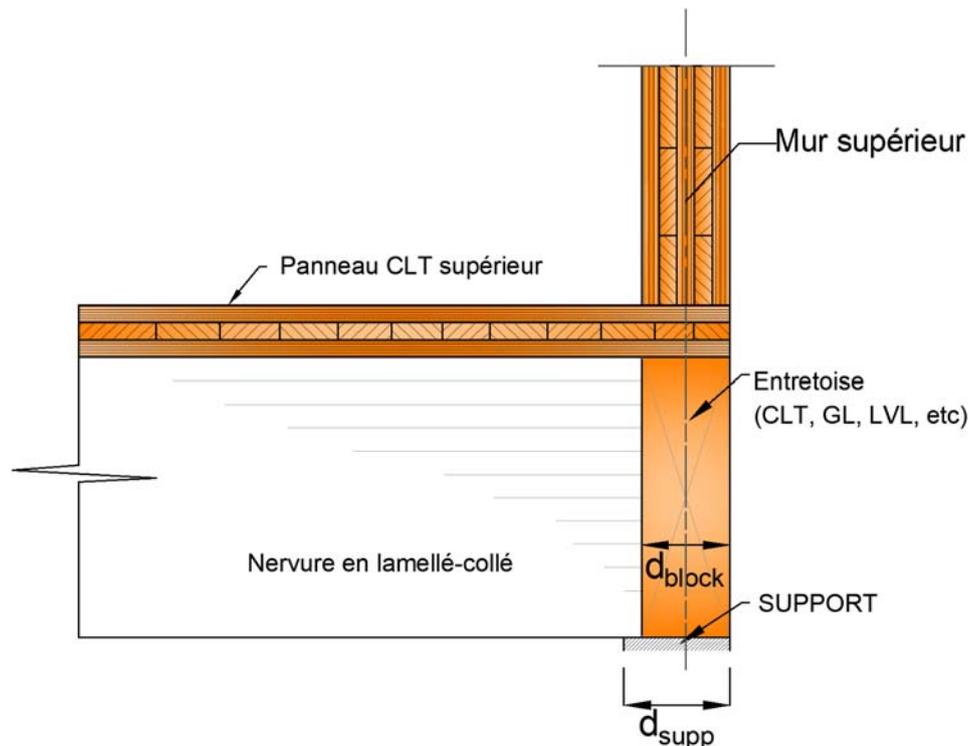
Avec :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact efficace perpendiculaire au fil [N/mm <sup>2</sup> ]
$k_{c,90}$	Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression. (Recommandation lorsque pas de données disponibles $k_{c,90} = 1,00$ ) ; voir chapitre 2.2.14.3 pour les valeurs $k_{c,90}$ utilisées pas Stora Enso.
$f_{c,90,CLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil en accord avec (OIB-Austrian Institute of Construction Engineering, 2014) [N/mm <sup>2</sup> ]
$F_d$	Valeur de calcul de la réaction au niveau de l'appui, provenant du caisson nervuré et des charges qui y sont appliquées [N]
$b_{rib}$	Largeur de la nervure [mm]
$(d_{supp} + 30mm)$	Longueur de contact efficace en compression perpendiculaire au fil en accord avec la norme EN 1995-1-1 (CEN European Committee for Standardization, 2004), partie 6.1.5 (1). [mm]
$d_{supp}$	Largeur d'appuis [mm]

#### 2.2.14.2. Compression perpendiculaire au fil transférée à travers les entretoises

##### Open type : CLT au-dessus

Figure 2-36: Support de caisson nervuré – Open type



Dans le cas d'un CLT Rib Panel Open type avec une compression provenant du mur supérieur (charge linéaire) reposant sur le caisson nervuré, aligné avec le support, la condition suivante doit être remplie au niveau des entretoises reposant sur l'appui :

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,block,d} \quad \text{Eq. 2-100}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d}}{l_{block} \cdot \min(d_{supp}; d_{block})} \quad Eq. 2-101$$

Avec :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression perpendiculaire au fil dans la zone comprimée de l'entretoise [N/mm <sup>2</sup> ]
$k_{c,90}$	Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression. (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 en accord avec (CEN European Committee for Standardization, 2004) [N/mm <sup>2</sup> ]
$F_{mur,d}$	Valeur de calcul de la réaction par entretoise, provenant du mur (charge linéaire) 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 du CLT supérieur doit être vérifié également :

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \quad Eq. 2-102$$

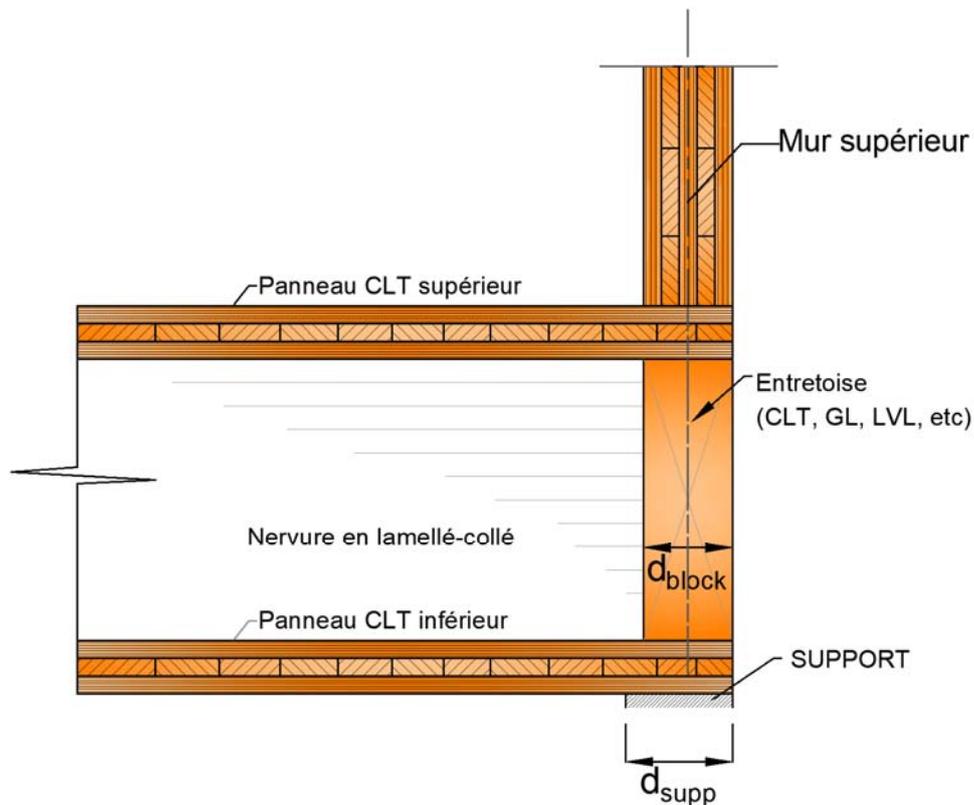
Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d} [N/mm]}{(t_{mur} + 30mm)} \quad Eq. 2-103$$

$F_{mur,d}$	Valeur de calcul de la réaction du mur supérieur (charge linéaire), reposant sur le caisson nervuré, aligné à l'appui. [N/mm]
$t_{mur}$	Epaisseur du mur supérieur [mm]

### Inverted/Closed type : CLT au-dessous

Figure 2-37: Support de caisson nervuré – Closed type



Dans le cas d'un CLT Rib Panel Inverted/Closed type avec une compression provenant du mur supérieur (charge linéaire) reposant sur le caisson nervuré, aligné avec le support, la condition suivante doit être remplie au niveau du CLT inférieur reposant sur l'appui :

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,CLT,d} \quad \text{Eq. 2-104}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d}}{l_{block} \cdot [\min(d_{supp}; d_{block}) + 30mm]} \quad \text{Eq. 2-105}$$

Avec :

$\sigma_{c,90,d}$	Valeur de calcul de la contrainte de compression perpendiculaire au fil dans la zone de contact efficace du CLT inférieur [N/mm <sup>2</sup> ]
$k_{c,90}$	Facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression. (Recommandation lorsque pas de données disponibles $k_{c,90} = 1,00$ ) ; voir chapitre 2.2.14.3 pour les valeurs $k_{c,90}$ utilisées pas Stora Enso.
$f_{c,90,CLT,d}$	Valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil en accord avec (OIB-Austrian Institute of Construction Engineering, 2014) [N/mm <sup>2</sup> ]
$F_{mur,d}$	Valeur de calcul de la réaction par entretoise, provenant du mur (charge linéaire) 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 l'entretoise permettant le transfert du mur supérieur au panneau CLT inférieur doit être vérifié également :

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,block,d} \quad \text{Eq. 2-106}$$

Avec :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{mur,d}}{l_{block} \cdot d_{block}} \quad \text{Eq. 2-107}$$

Avec :

$F_{mur,d}$	Valeur de calcul de la réaction par entretoise, provenant du mur (charge linéaire) reposant sur le caisson nervuré, aligné à l'appui. [N]
$l_{block}$	Largeur de l'entretoise [mm]
$d_{block}$	Epaisseur de l'entretoise [mm]

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

- La vérification présentée précédemment pour le caisson nervuré Open type s'applique (voir Eq. 2-103).
- La vérification de la compression perpendiculaire au plan du panneau CLT est aussi décrite dans l'Avis Technique du CLT Stora Enso.

### 2.2.14.3. Facteur $k_{c,90}$ pour le CLT

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

### Facteurs issus de l'Annex K de la norme ÖNORM EN1995-1-1 (Austrian Standardization Institute, 2016)

Les valeurs suivantes du facteur  $k_{c,90}$  sont valides pour les situations de transmission de force linéique à l'appui : en accord avec (Austrian Standardization Institute, 2016)

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 (Austrian Standardization Institute, 2016)

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

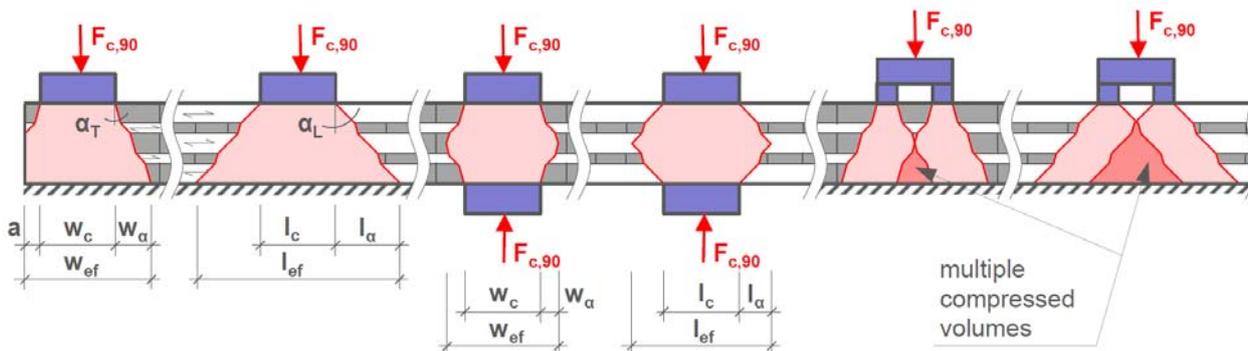
**Modèle de dispersion des contraintes de Van der Put (R BRANDNER, G SCHICKHOFER, 2014) – Approche alternative**

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  $\alpha_L$  et  $\alpha_T$  dans l'analyse de la dispersion des contraintes d'un pli à l'autre et en fonction des conditions d'appuis (voir Figure 2-38) 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 :  $A_{ef} = w_{ef} \cdot l_{ef}$

**Figure 2-38 : Modèle de distribution pour les contraintes de compression perpendiculaire au fil dans des éléments CLT chargés discrètement, supportés de manière continue ou discrète.** (R BRANDNER, G SCHICKHOFER, 2014)



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

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

$$k_{c,90} = \sqrt{\frac{A_{ef}}{A_c}} \quad \text{Eq. 2-108}$$

Avec :

$$A_{ef} = w_{ef} \cdot l_{ef}$$

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

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

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

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 2-38 est vérifié avec succès dans le rapport d'étude (R BRANDNER, G SCHICKHOFER, 2014) et proposé en outre pour le dimensionnement du CLT en compression perpendiculaire au fil en utilisant deux angles de dispersion des contraintes différents  $\alpha_L = 45^\circ$  et  $\alpha_T = 15^\circ$  pour la direction longitudinale et transversale, respectivement, comme déjà ancré dans l'EN 1995-2: 2004.

Le modèle permet d'expliquer directement les différences entre (i) les configurations de chargement, (ii) les conditions d'appuis, (iii) la composition et l'épaisseur des éléments CLT, et (iv) la distance au bord  $a$ .

La formulation pour  $k_{c,90}$  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).

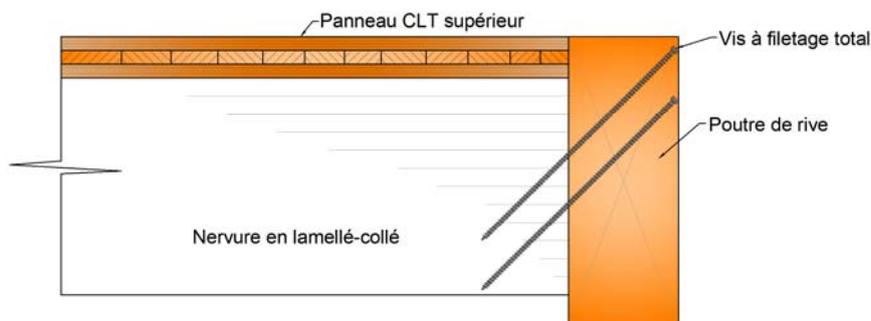
## 2.2.15. Appuis avec nervures supportées individuellement ou par joints mécaniques

### 2.2.15.1. Support en poutre de rive

Avec le support en poutre de rive, le caisson est supporté par une poutre de rive. La Figure 2-39 présente une solution possible pour un caisson nervuré avec CLT sur le dessus des nervures.

Le système est similaire pour les configurations avec le CLT au-dessous des nervures ou en caisson fermé. Le caisson nervuré ouvert ou fermé est soutenu par la nervure en lamellé-collé. Si nécessaire, la vis peut également être intégrée dans le CLT. Le caisson doit être fixé à la poutre de support en employant des vis à filetage total, inclinées à  $45^\circ$  par défaut, ainsi les vis travaillent en traction. La fixation du connecteur dans la nervure est obligatoire, la fixation supplémentaire dans le CLT est facultative. La vis entièrement filetée peut être insérée du côté du panneau ou du côté de la poutre de rive. La fixation au niveau des deux extrémités doit être suffisante par rapport à la situation donnée et doit être dimensionnée en conséquence.

Figure 2-39: Caisson nervuré CLT Rib Panel & poutre de rive en appui



Le dimensionnement de la vis ne sera pas traité dans ce document, car la résistance à l'arrachement des vis est spécifiée dans l'ETA concerné. Tous les espacements et distances au bord applicables (conditions de pinces) doivent être exécutés conformément à l'ETA concerné.

Dans le cas d'un support en poutre de rive, si la vis entièrement filetée n'atteint pas tout le bas de la section de la nervure, une vérification de contrainte de fendage est requise. Voir EN 1995-1-1, chapitre 6.5 [5].

D'autres exemples de CLT Rib Panel avec nervures supportées individuellement sont présentés en annexe.

## 2.2.16. Dispositions générales relatives aux chantiers

### 2.2.16.1. Réception sur chantier

Les éléments CLT Rib Panel sont livrés sur le chantier par transport routier prêts à être mise en œuvre à l'aide d'une grue.

En cas de stockage sur chantier, le taux d'humidité des éléments à la sortie de l'usine avoisinant  $12\% \pm 2\%$ , il convient d'en limiter la durée afin d'éviter les reprises d'humidité. Le stockage doit être établi de façon à ce que les éléments ne soient pas en contact direct avec le sol et de sorte que rien n'entrave la circulation de l'air.

Lors d'un stockage de longue durée, les protections mises en place doivent permettre une ventilation suffisante de manière à empêcher, notamment, les phénomènes de condensation. La zone de stockage est ainsi aménagée sans obstacles alentours. Une protection pare pluie est indispensable.

Il peut être nécessaire de protéger les éléments des U.V. lorsque ceux-ci sont destinés à une utilisation avec une face visible. Il est alors indispensable de prévoir sur les panneaux une protection contre le rayonnement solaire (bâche opaque, etc...), posé en usine ou immédiatement après le déchargement (moins de 5 minutes en général).

#### 2.2.16.1.1. Manutention

Pour le levage, les planchers sont généralement munis de quatre points d'ancrage. Un nombre supérieur de points d'ancrage peut être défini par le concepteur et/ou le fabricant.

Le poids de chaque élément et leur position dans le transport doivent être pris en compte avant de définir le dimensionnement et l'implantation des points d'ancrage pour le levage. Il est également indispensable d'adapter les moyens de levage aux solutions constructives retenues. Une information plus détaillée est disponible dans la documentation Stora Enso « CLT\_Transport anchors and lifting devices »

Les outils de manutention sont dimensionnés par leur fabricant respectif. Il convient de se reporter à la documentation technique de chaque fabricant pour s'assurer que la chaîne de manutention peut supporter les charges induites par les panneaux structuraux. Cette chaîne comprend usuellement :

- Une grue mobile ou à tour ;
- Des élingues textiles ou métalliques avec leurs crochets et leurs anneaux ;
- Les anneaux de levage.

Les anneaux de levage doivent être reliés au panneau à manutentionner moyennant un dispositif de fixation. Ce dispositif doit être dimensionné comme tous les assemblages suivant la NF EN 1995-1-1.

#### 2.2.16.1.2. Mise en œuvre

Avant le levage des éléments CLT Rib panel pour leur positionnement dans l'ouvrage, il convient de respecter les étapes ci-après :

- Vérifier les tolérances d'exécution du support.
- Vérifier les points de d'élingage et la capacité de la grue en fonction du poids des caissons afin d'optimiser la sécurité au moment du levage.
- S'assurer de la présence et de la bonne disposition des éléments participant à l'étanchéité à l'eau et à l'air entre le support et les éléments CLT Rib Panel (bande anti-capillarité, joints de calfeutrement...) lorsque cela est nécessaire.

Pendant la phase de levage, il convient de respecter les recommandations ci-après :

- Prévoir l'étalement provisoire des caissons en attendant leur fixation définitive et tant que la structure n'a pas acquis sa stabilité propre. Ces étalements sont constitués de béquilles placées à  $45^\circ$  à raison de deux, minimum, par élément.
- Prévoir une protection du caisson contre les intempéries. Pour les planchers, il convient de protéger les nez de dalle et de disposer une étanchéité qui couvre la surface des planchers. Cette étanchéité est soit aérienne réalisée à l'aide de bâches pour éviter son poinçonnement lorsque les ouvriers circulent, soit posée sur le CLT réalisée avec un feutre bitumineux plus résistant. Il convient également de chasser toute stagnation d'eau.

#### 2.2.16.1.3. Prévention des accidents et maîtrise des risques lors de la mise en œuvre et de l'entretien

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 conçus et prescrits par Stora Enso doivent être respectés sur chantier.

Compte tenu que les panneaux offrent des surfaces de prise au vent importantes lors de leur manutention, il est impératif d'une part de recourir aux précautions habituelles relatives à la manutention des éléments de grandes dimensions, d'autre part de cesser la mise en œuvre lorsque la vitesse du vent empêche la manutention aisée par deux personnes.

D'une manière générale, la mise en œuvre des panneaux CLT RIB PANEL impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur conformément au code du travail.

Les panneaux CLT RIB PANEL de la société Stora Enso sont mis en œuvre par une entreprise ayant les qualifications pour effectuer des travaux de grutage et des travaux en hauteur.

Lorsque le risque de chute de hauteur ne peut être supprimé, les interventions seront réalisées en sécurité à l'aide de moyens installés selon un ordre de priorités :

1. Travailler à partir de postes de travail spécifiquement conçus à cet effet et équipés de protections permanentes ;
2. À défaut, des protections temporaires (garde-corps, protections périphériques et/ou dispositifs de recueil souples comme les filets en grande nappe ou les filets sur console) peuvent être utilisées.

Les garde-corps provisoires constituent le dispositif de protection collective le plus utilisé pour la protection des rives de dalle des panneaux CLT RIB PANEL en cours de travaux. Leur hauteur est comprise entre 1 m et 1,10 m par rapport au plancher ; la lisse supérieure rigide sert éventuellement de main courante.

Les filets de sécurité sont des dispositifs d'arrêt de chute : Les filets de sécurité seront adaptés aux situations dans lesquelles il n'est pas possible d'empêcher la chute par une protection collective. Ils doivent être mis en œuvre au plus près du niveau de travail pour limiter la hauteur de chute, qui ne doit en aucun cas excéder 3 mètres, et assurer l'absence de choc avec le sol ou un obstacle avant l'arrêt de la chute ;

3. Ce n'est que lorsqu'il y a impossibilité technique de mettre en œuvre des protections collectives que le recours à des moyens de protection individuelle (EPI) utilisant un système d'arrêt de chute peut être envisagé.

Pour les travaux en hauteur, quand un système de protection collective ne peut être mis en œuvre autour d'un plan de travail, un dispositif antichute individuel peut prendre le relais. Il comprend un système de préhension du corps (le harnais antichute) et un sous-système de liaison (par exemple une longe avec absorbeur ou antichute à rappel automatique) à relier à un point d'ancrage (ancrage structurelle ou à corps-mort, ligne de vie, rail horizontal ou ancrage provisoire transportable).

### 2.2.17. Assistance technique

La conception et le calcul des éléments CLT Rib Panel sont à la charge du bureau d'études techniques qui doit également fournir un plan de pose complet.

Un logiciel de dimensionnement est tenu à disposition des bureaux d'étude par le titulaire afin de vérifier en phase définitive les éléments.

Plusieurs documents techniques sont également disponibles tels que : « StructuralDesignCLT\_RibPanels » et « RibPanels\_AnalysisSample » qui peuvent servir de complément à cet avis technique.

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.

Les ouvrages doivent être dimensionnés et vérifiés par référence aux normes de la série NF EN 1995 et leur Annexe Nationale.

---

## 2.3. Résultats expérimentaux

---

- [1] C. E. C. f. Standardization, EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, Brussels: CEN European Committee for Standardization, 2004.
- [2] O. A. I. o. C. Engineering, ETA-14/0349 (02.10.2014) CLT - Cross Laminated Timber, Wien: OIB Austrian Institute of Construction, 2014.
- [3] C. E. C. f. Standardization, «EN 14080 - Timber structures - glued laminated timber and glued solid timber - requirements,» CEN European Committee for Standardization, Brussels, 2013.
- [4] C. E. C. f. Standardization, EN 1995-1-2 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design, Brussels: CEN European Committee for Standardization, 2004.
- [5] P. H. & A. Richter, «BEMESSUNGS- UND KONSTRUKTIONSRGELN ZUM SCHWINGUNGSNACHWEIS VON HOLZDECKEN,» Biberach, 2009.
- [6] M. Augustin, «Report on the determination of the effective width and verification of rib panels for Stora Enso Timber Wood Products,» holz.bau forschung GmbH, Graz, 2017.
- [7] 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.
- [8] G. S. T. B. Gerhard Schickhofer, «Comparison of Methods of Approximate Verification Procedures for Cross Laminated Timber,» Graz, 2012.
- [9] T. M. G. S. Thomas Bogensperger, «Verification of CLT-plates under loads in plane,» chez *WCTE 2010*, 2010.
- [10] H. Blass, «787\_Expert opinion\_CLT - shear in CLT elements,» H.J. Blass, Karlsruhe, 2010.
- [11] T. O. VTT Expert Services Ltd, «Statement NO VTT-S-05640-17,» VTT Expert Services Ltd, Espoo, Finland, 2017.
- [12] (. G. Stora Enso, «CLT cross laminated timber - fire protection,» 2014.
- [13] M. T. & I. Matzinger, «Expert statement 122/2011/02- Calculability of load capacity and separation performance of Stora Enso CLT (Cross Laminated Timber) elements,» Holzforschung Austria, Vienna, 2011.
- [14] H. Austria, «Statement of expert opinion 122/2011/02, Calculability of the load capacity and integrity of "Stora Enso CLT" cross-laminated timber components,» Holzforschung Austria, Vienna, 2010.
- [15] S. E. W. Products, «CLT rib panels - quality control manual,» Stora Enso Wood Products, Ybbs an der Donau, 2017.
- [16] M. Augustin, "Report on the determination of the effective width and verification of rib panels for Stora Enso Timber Wood Products," holz.bau forschung GmbH, Graz, 2017..
- [18] M. T. & I. Matzinger, «Grundlagen zur Bewertung des Feuerwiderstandes von Holzkonstruktionen Endbericht, [Principles of fire-resistance rating of timber structures. Final report.],» Holzforschung Austria, Vienna, 2010.

---

## 2.4. Références

---

### 2.4.1. Données Environnementales

Le procédé CLT Rib Panel ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Ils ne peuvent donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés.

#### **2.4.2. Autres références**

- Immeuble de bureau ANMV pour l'Agence Nationale du Médicament Vétérinaire, (Javané (35), France)  
Livraison en mars 2018  
Entreprise de construction : Les charpentiers de l'Atlantique
- Bâtiment industriel OSTRIA (Villebon sur Yvette (91)), 250 m<sup>2</sup>  
Livraison en 2019  
Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Maison individuelle Salomon (Issy les Moulineaux (92)), 80 m<sup>2</sup>  
Livraison en 2020  
Entreprise de construction : Aux charpentiers de France
- Lycée Henri Avril (Lamballe (22)), 128 m<sup>2</sup>
  - Livraison en 2020Entreprise de construction : CCL

## 2.5. Annexes du Dossier Technique

Tableau 2-6 : Gamme d'entraxes des CLT Rib PANEL

Entraxe des nervures « S » et largeur de panneau « W » selon le critère de résistance au feu	SCHEMA SECTION CAISSON OUVERT ET FERME
<p>R0 et R30 4 nervures (S = 600mm à 800mm) pour largeur de panneau 1.76m &lt; W &lt; 2.45m</p> <p>R60 5 nervures (S = 400mm to 600mm) pour largeur de panneau 2.0m &lt; W &lt; 2.45m</p>	
<p>R0 et R30 3 nervures (S = 600mm à 800mm) pour largeur de panneau 1.36m &lt; W &lt; 1.76m</p> <p>R60 4 nervures (S = 400mm à 600mm) pour largeur de panneau 1.4m &lt; W &lt; 2.0m</p>	
<p>R0 et R30 2 nervures (S = 600mm à 800mm) for widths 0.6m &lt; W &lt; 1.36m</p> <p>R60 3 nervures (S = 400mm à 600mm) pour largeur de panneau 0.8m &lt; W &lt; 1.4m</p> <p>2 nervures (S = 400mm à 600mm) pour largeur de panneau 0.6m &lt; W &lt; 0.8m</p>	

Tableau 2-7 : Gamme de produit standard

	$H_{r,1}$	$B_{w,l}$	$B_{w,e}$	$H_w$								
R0	60 L3s	120	80	160	200	240	280					
	80 L3s	120	80	160	200	240	280	320	360	400		
	90 L3s	120	80	160	200	240	280	320	360	400	440	
	100 L3s	120	80	160	200	240	280	320	360	400	440	480
	120 L3s	120	80	160	200	240	280	320	360	400	440	
R30	90 L3s	120	100	160	200	240	280	320	360	400	440	
	100 L3s	120	100	160	200	240	280	320	360	400	440	480
	120 L3s	120	100	160	200	240	280	320	360	400	440	
R60	100 L5s	200 <sup>1</sup>	140		200	240	280	320	360	400	440	480
	120 L5s	200 <sup>1</sup>	140		200	240	280	320	360	400	440	
	140 L5s	200 <sup>1</sup>	140		200	240	280	320	360	400	440	

1 Vis doivent être décalées sur deux rangées

Les sections en R30 et R60 doivent être dimensionnées par l'ingénieur structure en charge du projet. Les épaisseurs de CLT et largeurs de nervures présentées dans la gamme standard de produit sont les dimensions minimales.

Figure 2-40 : Assemblage entre deux CLT Rib Panel

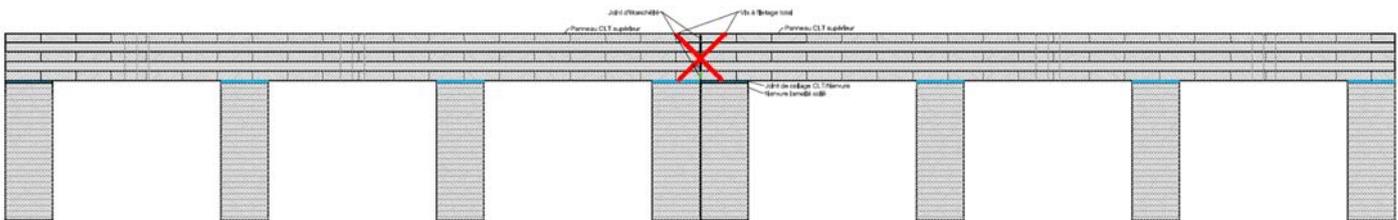
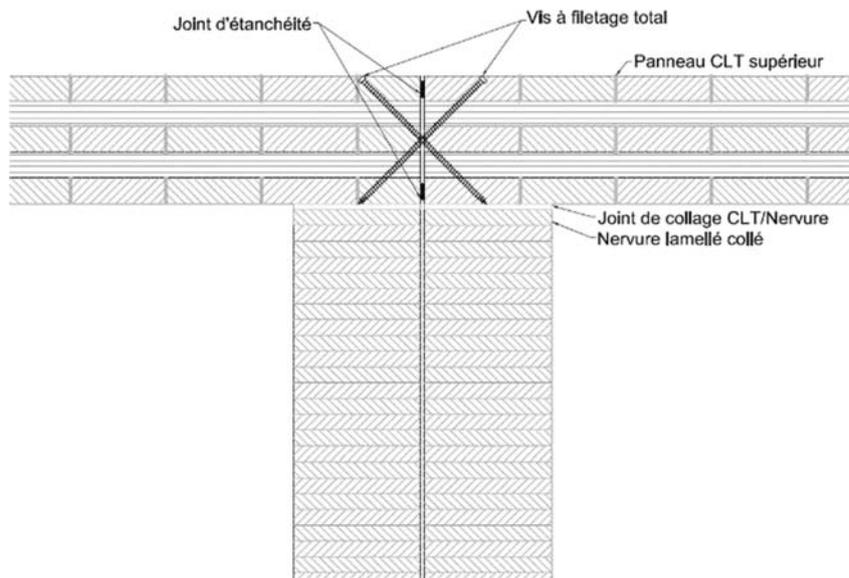
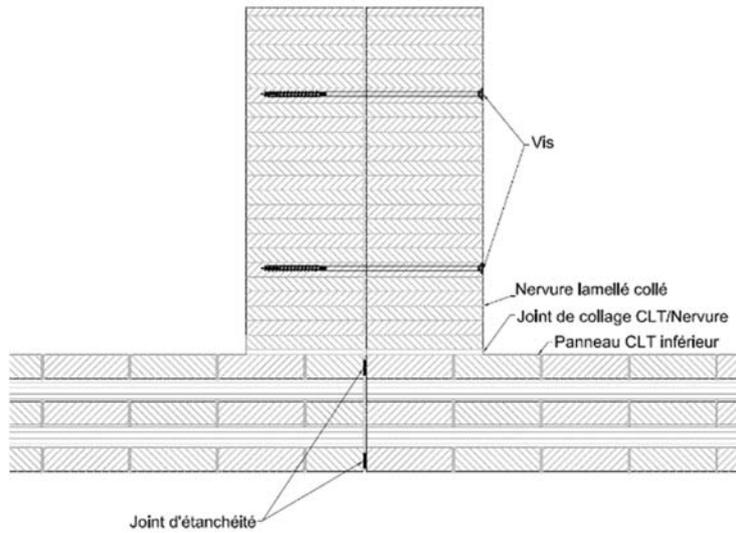


Figure 2-41 : Assemblage par vis diagonales entre deux CLT RIB PANEL ouverts

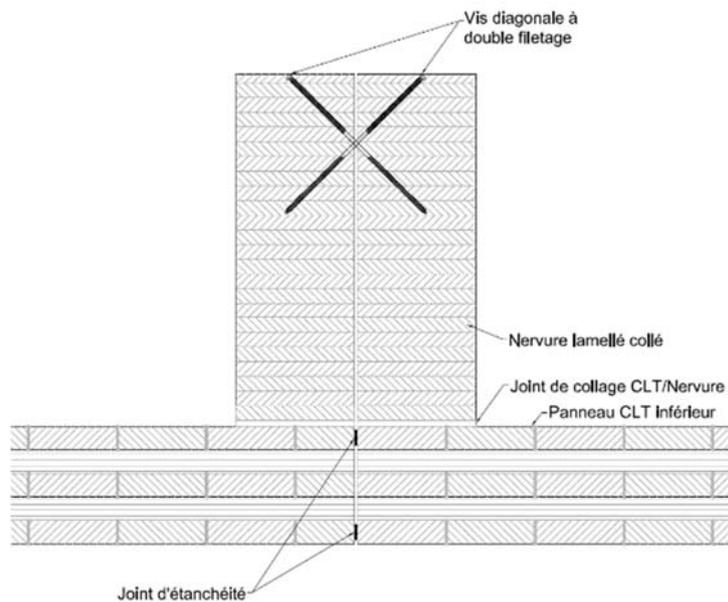


**Figure 2-42 : Assemblage par vis droite entre deux CLT RIB PANEL inversé (non utilisable en situation sismique)**

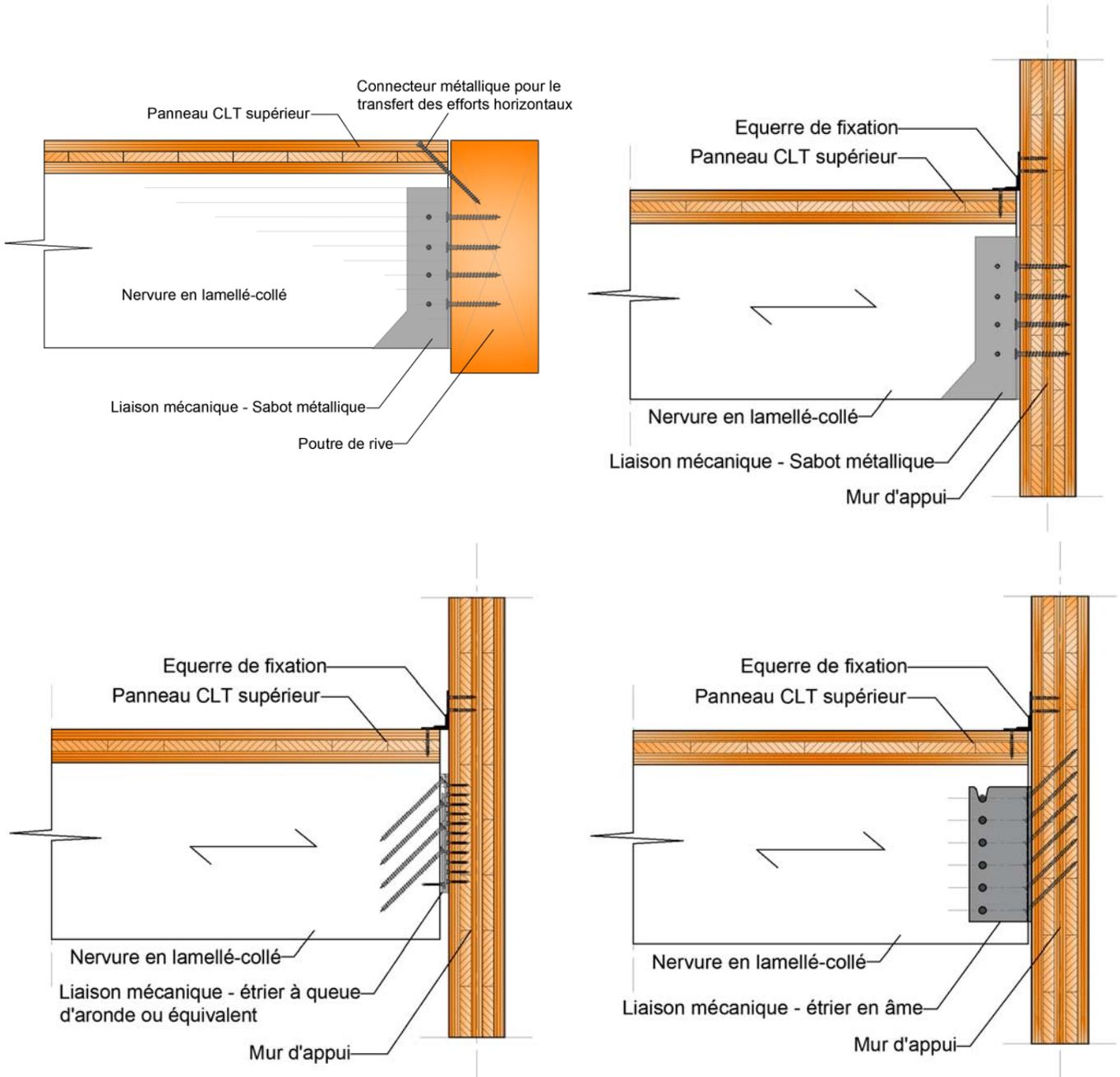
Dans le cas des caissons inversés, les charges sont appliquées sur la partie supérieure des nervures uniquement.

**Figure 2-43 : Assemblage par vis diagonales entre deux CLT RIB PANEL inversé (non utilisable en situation sismique)**

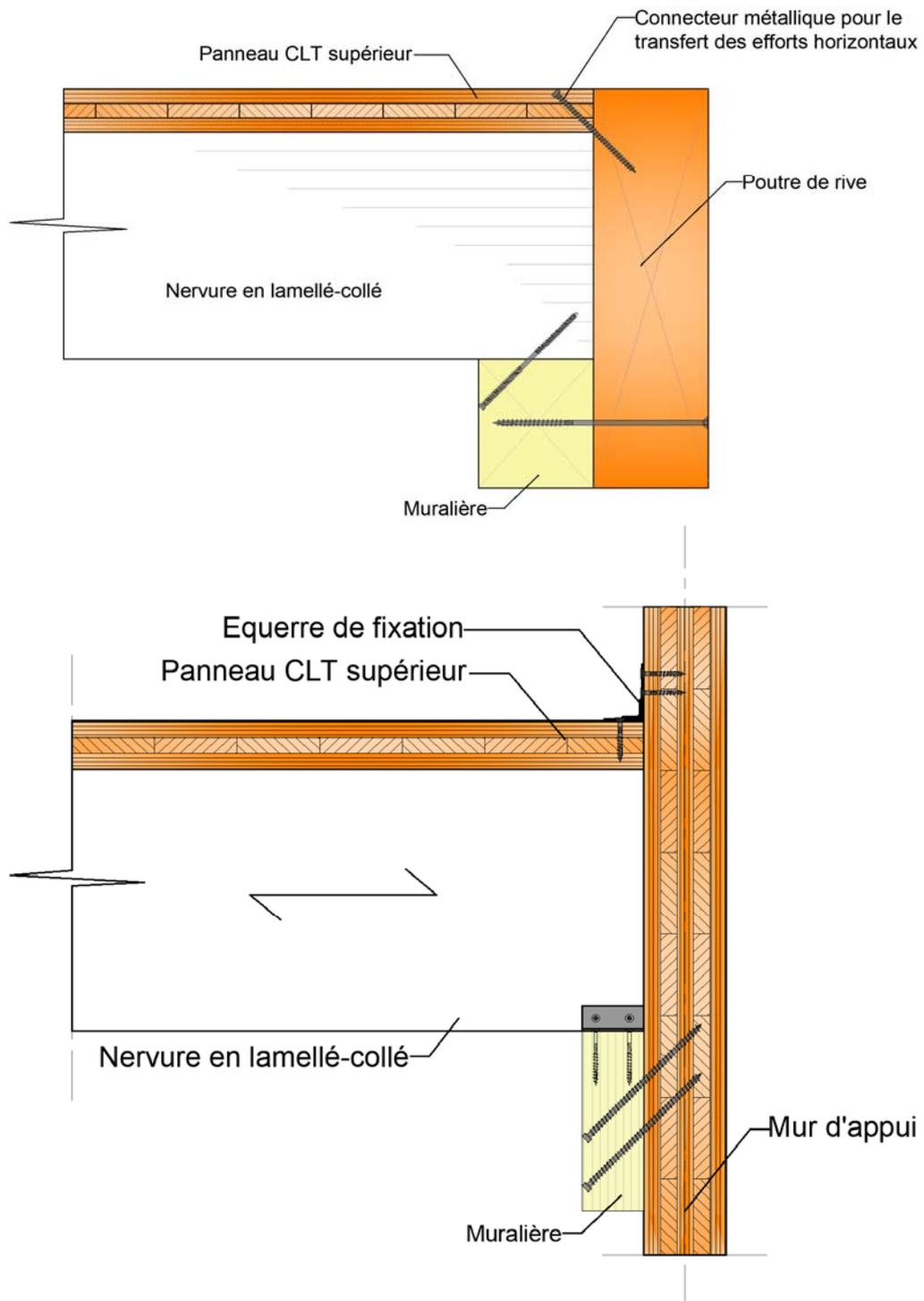
Dans le cas des caissons inversés, les charges sont appliquées sur la partie supérieure des nervures uniquement.



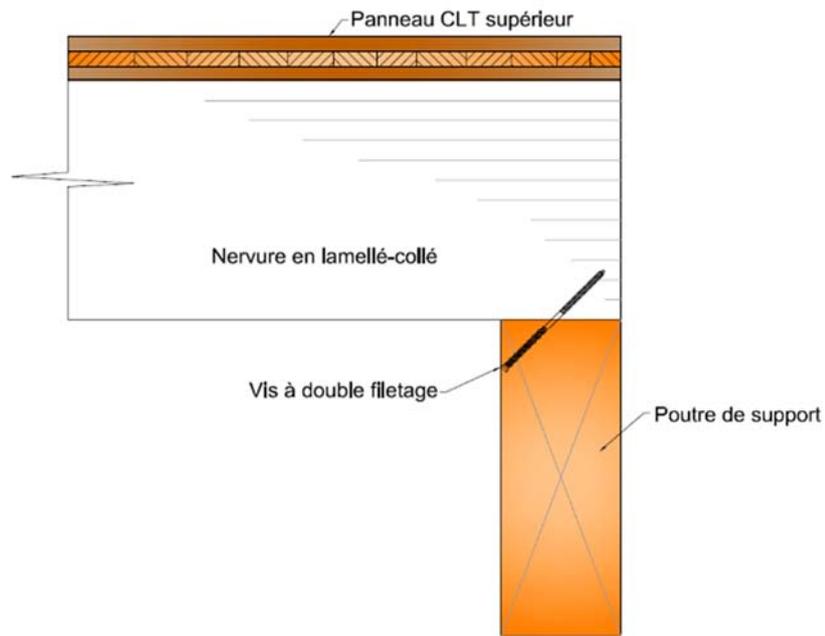
**Figure 2-44 : CLT RIB PANEL avec nervures supportées individuellement par connecteur métallique (utilisable en situation sismique)**



**Figure 2-45 : CLT RIB PANEL supporté par muralière (CLT, GL, LVL, bois massif...) (utilisable en situation sismique)**



**Figure 2-46 : CLT RIB PANEL sur poutre à base de bois (bois massif, bois lamellé collé, CLT, LVL, etc...)  
(non utilisable en situation sismique)**



**Figure 2-47 : CLT RIB PANEL avec support en poutre de rive (utilisable en situation sismique)**

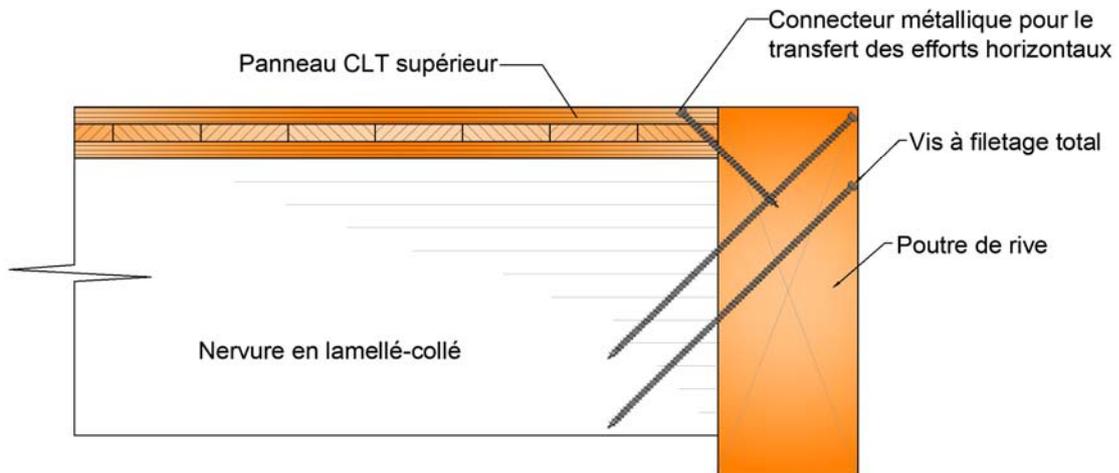


Figure 2-48 : CLT RIB PANEL sur support béton (non utilisable en situation sismique)

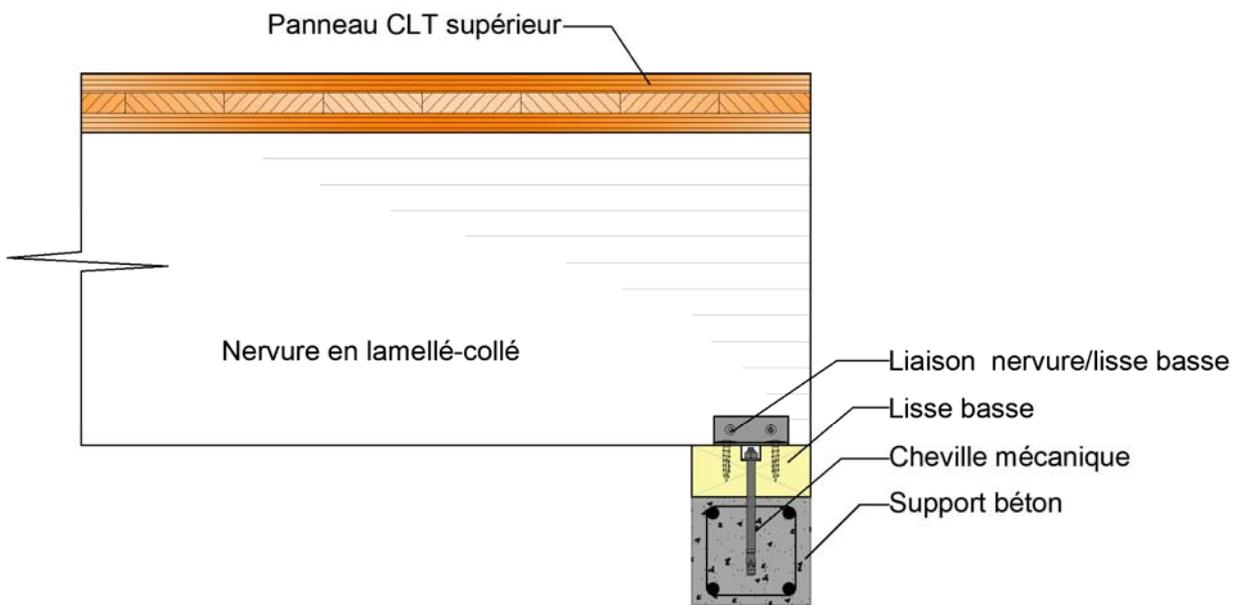
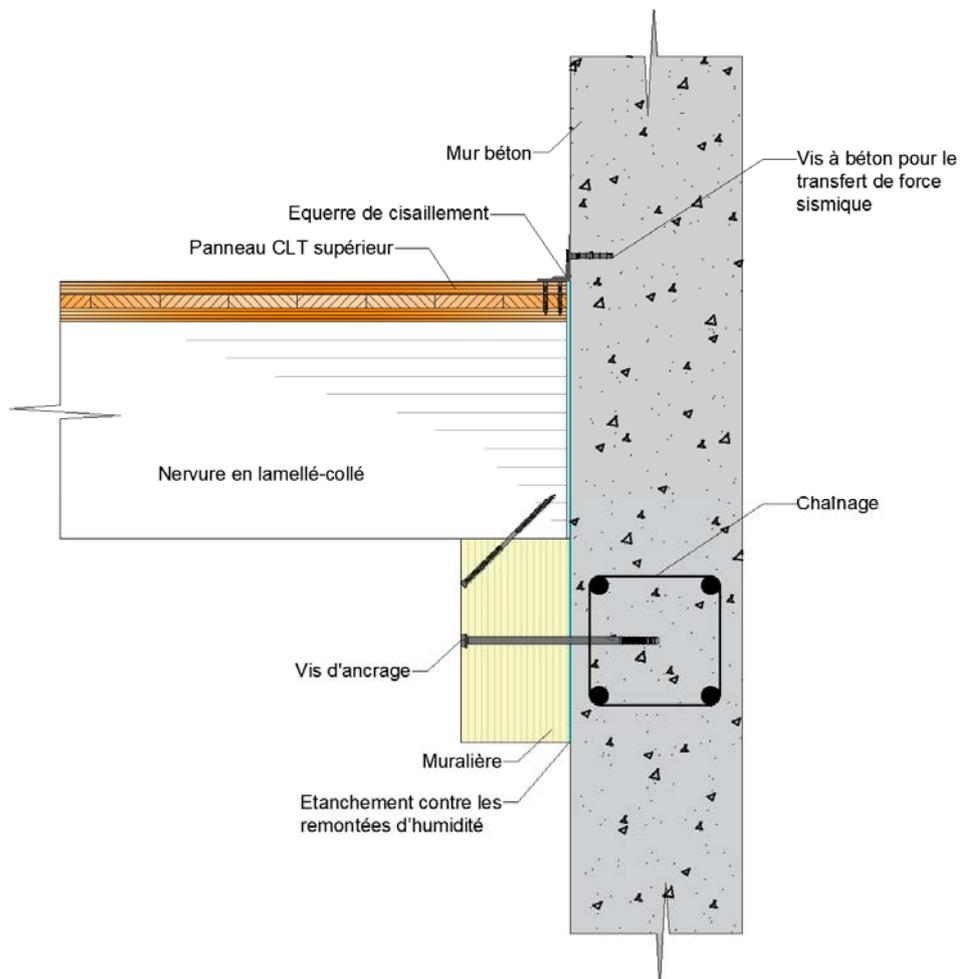
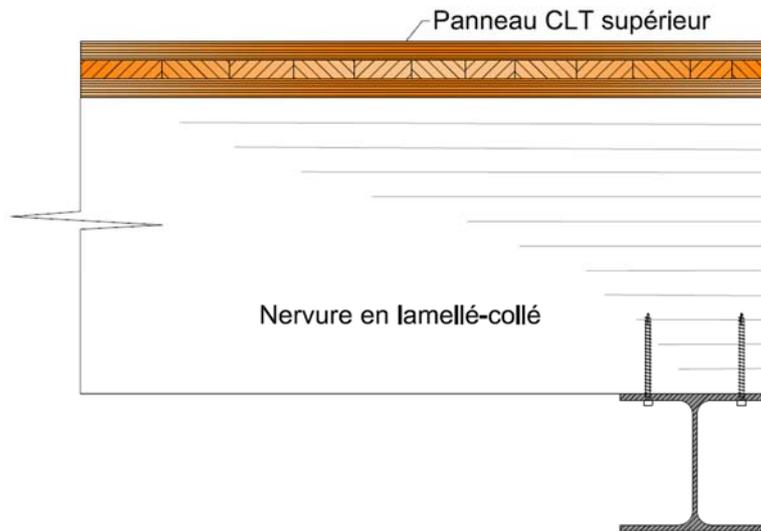


Figure 2-49 : CLT RIB PANEL sur mur béton (utilisable en situation sismique)

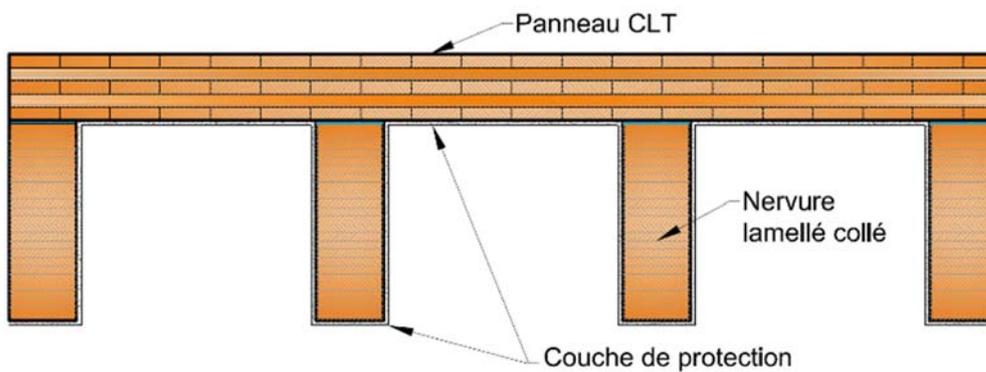


**Figure 2-50 : CLT RIB PANEL sur poutre métallique (non utilisable en situation sismique)**



**Protection des éléments pour les cas d'incendie :**

**Figure 2-51 : CLT Rib Panel avec couche protectrice sur le contour la sous-face**



**Figure 2-52 : CLT Rib Panel avec couche protectrice directe sur la sous-face des nervures, créant des cavités**

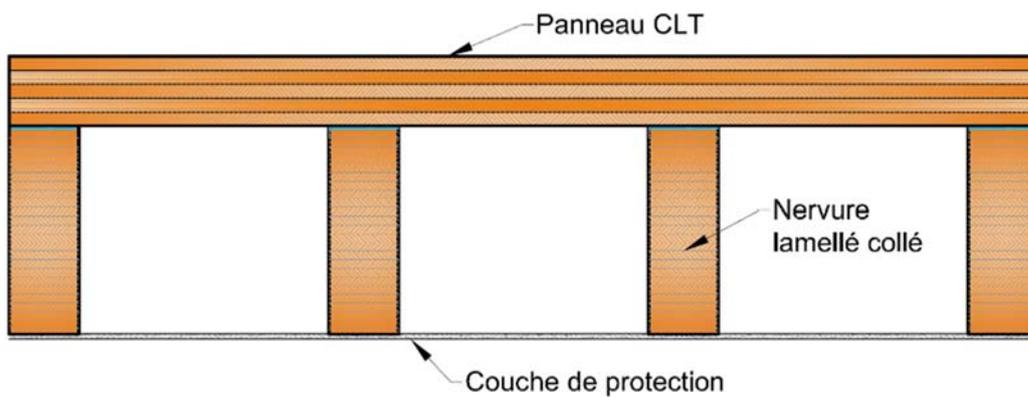


Figure 2-53 : CLT RIB PANEL intégrant une isolation

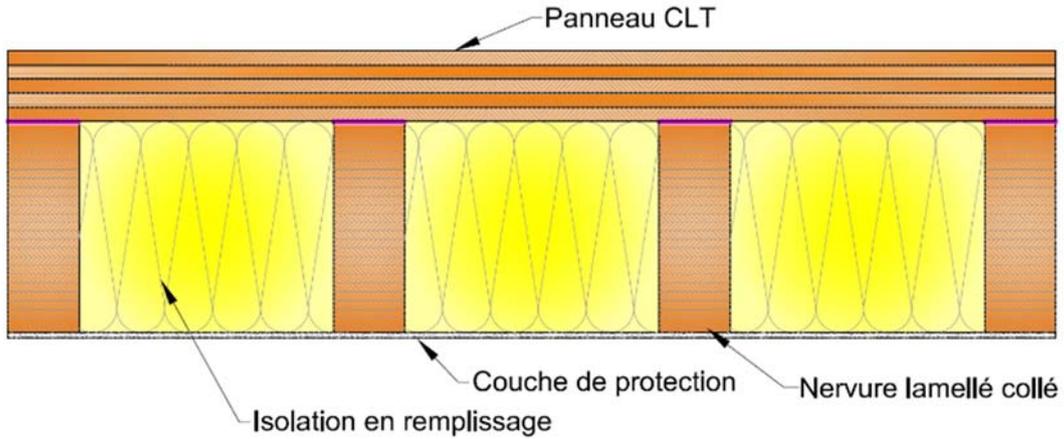


Figure 2-54 : Composition type d'un CLT RIB PANEL ouvert avec raccord aux murs (utilisable en situation sismique)

### Composition du plancher

- Revêtement de sol
- Chape
- Membrane
- Isolation aux bruits d'impact
- Couche de désolidarisation de la chape
- Protection contre le ruissellement
- CLT Rib Panel ouvert
- Placoplâtre ou plaque de plâtre armé

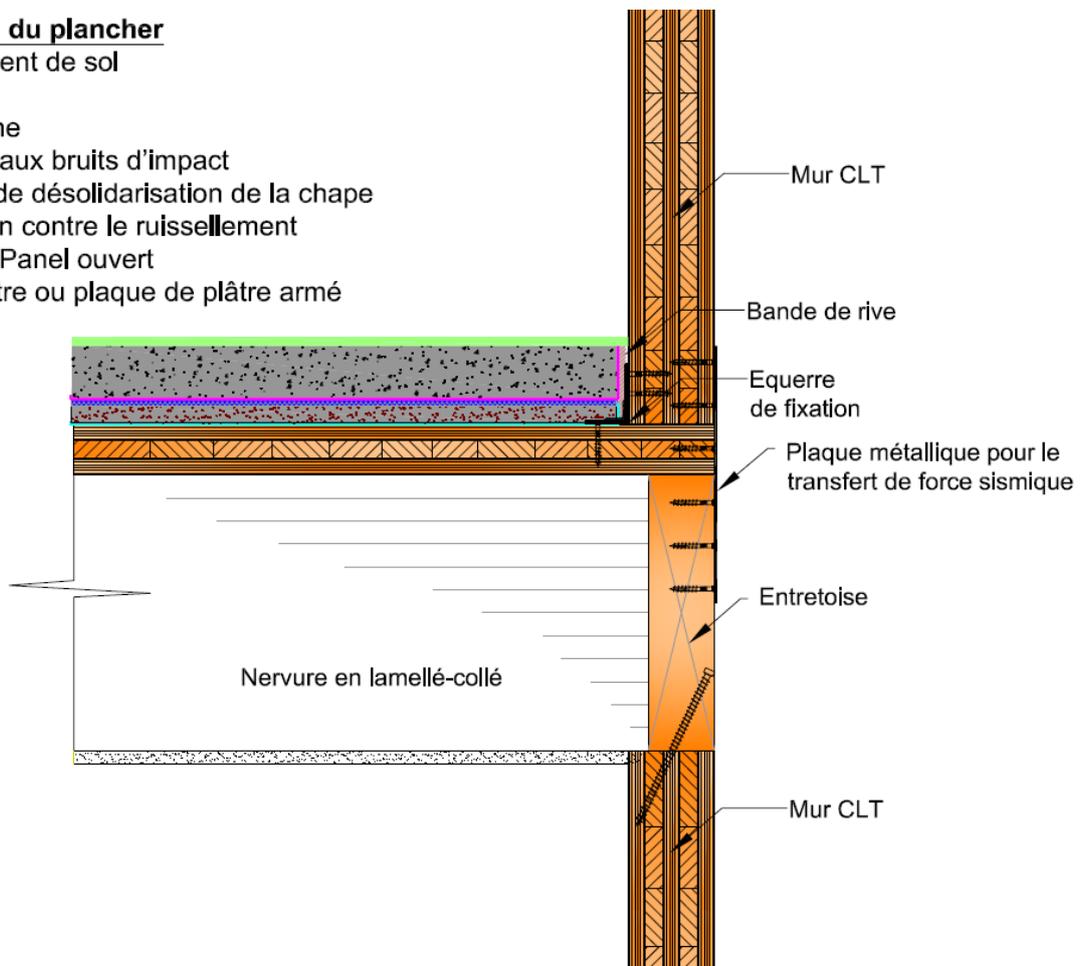


Figure 2-55 : Composition type d'un CLT RIB PANEL ouvert avec raccord aux murs par sabot métallique (utilisable en situation sismique)

### Composition du plancher

- Revêtement de sol
- Chape
- Membrane
- Isolation aux bruits d'impact
- Couche de désolidarisation de la chape
- Protection contre le ruissellement
- CLT Rib Panel ouvert
- Placoplâtre ou plaque de plâtre armé

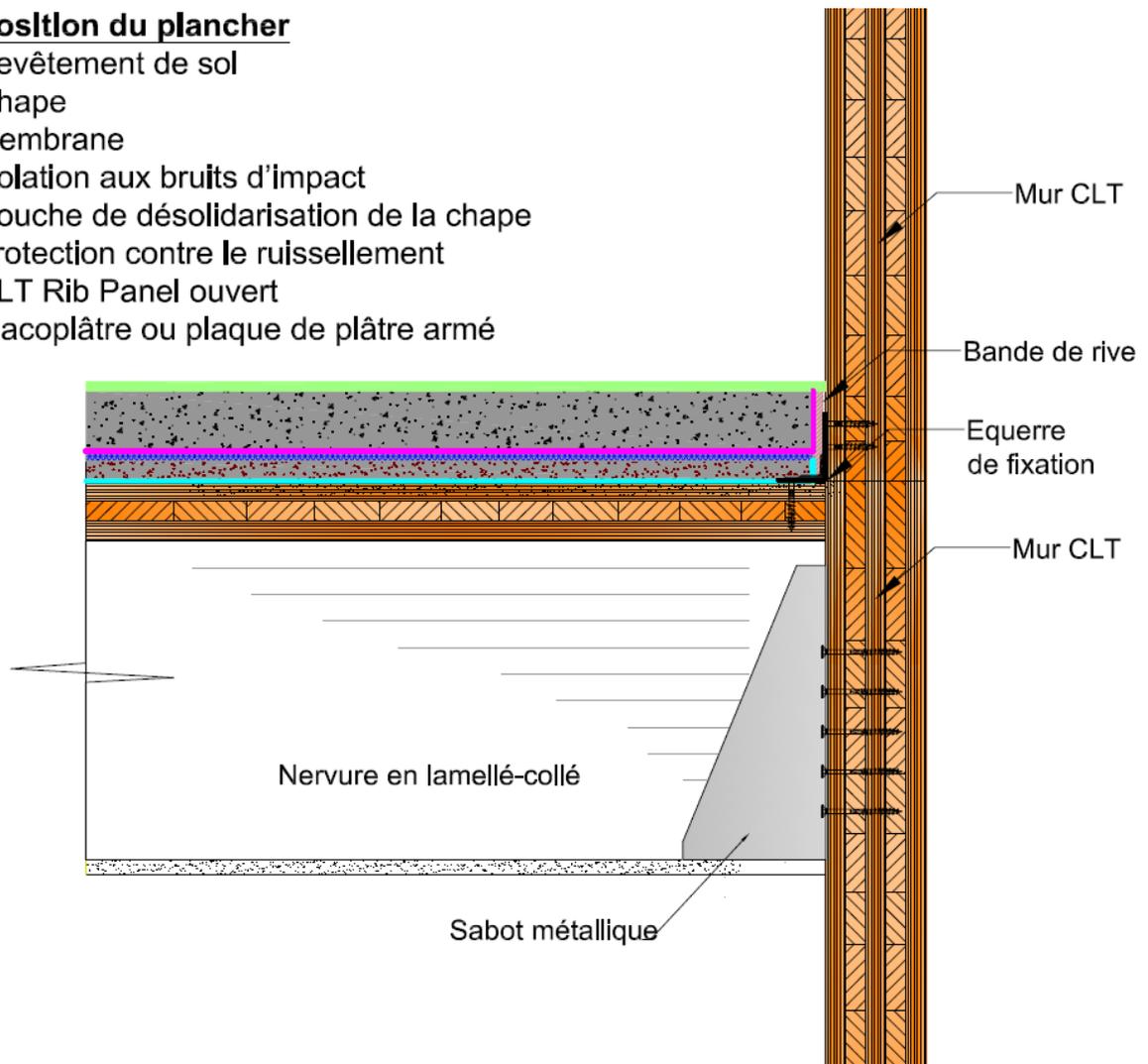


Figure 2-56 : Compositions type d'un CLT RIB PANEL fermé avec raccord aux murs (utilisable en situation sismique)

### Composition du plancher

- Revêtement de sol
- Chape
- Membrane
- Isolation aux bruits d'impact
- Couche de désolidarisation de la chape
- Protection contre le ruissellement
- CLT Rib Panel fermé

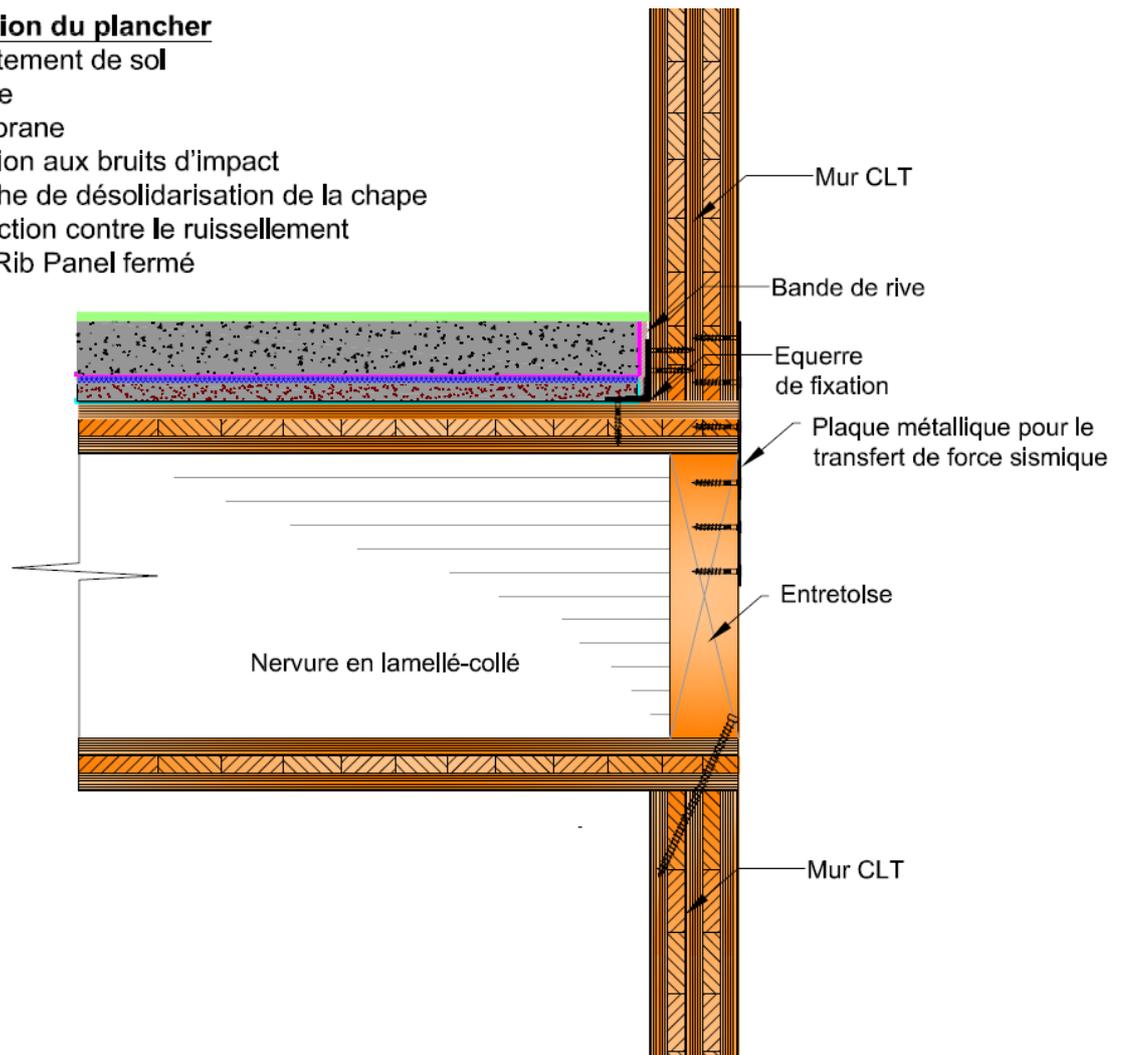
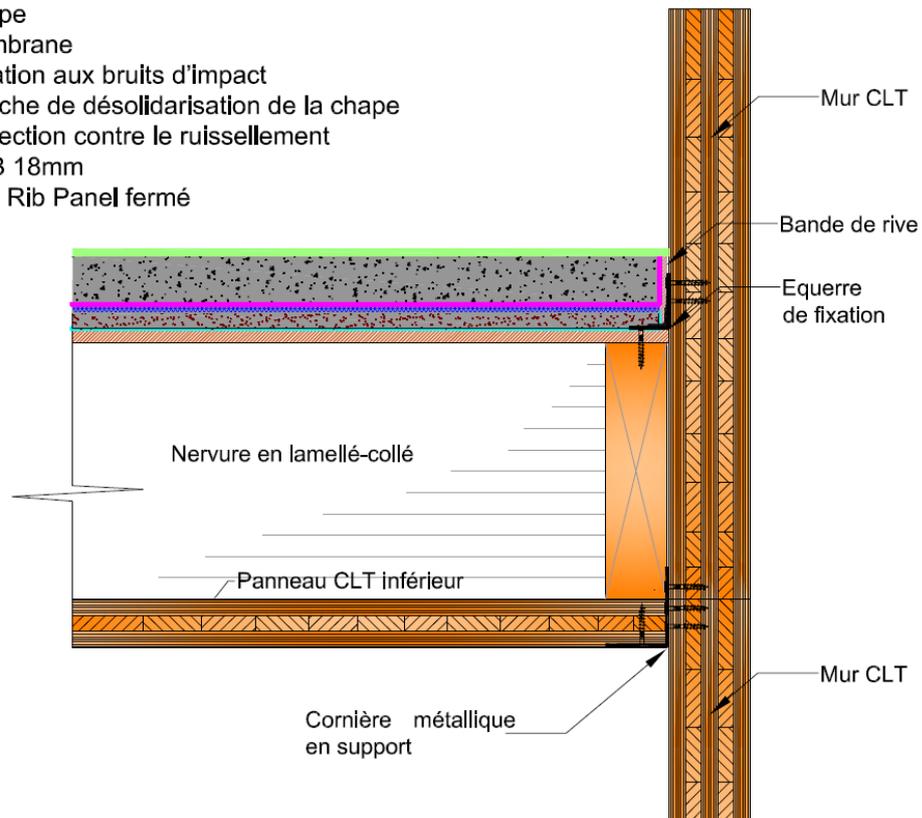


Figure 2-57 : Compositions type d'un CLT RIB PANEL inversé avec raccord aux murs (utilisable en situation sismique)

### Support avec cornière métallique

#### Composition du plancher

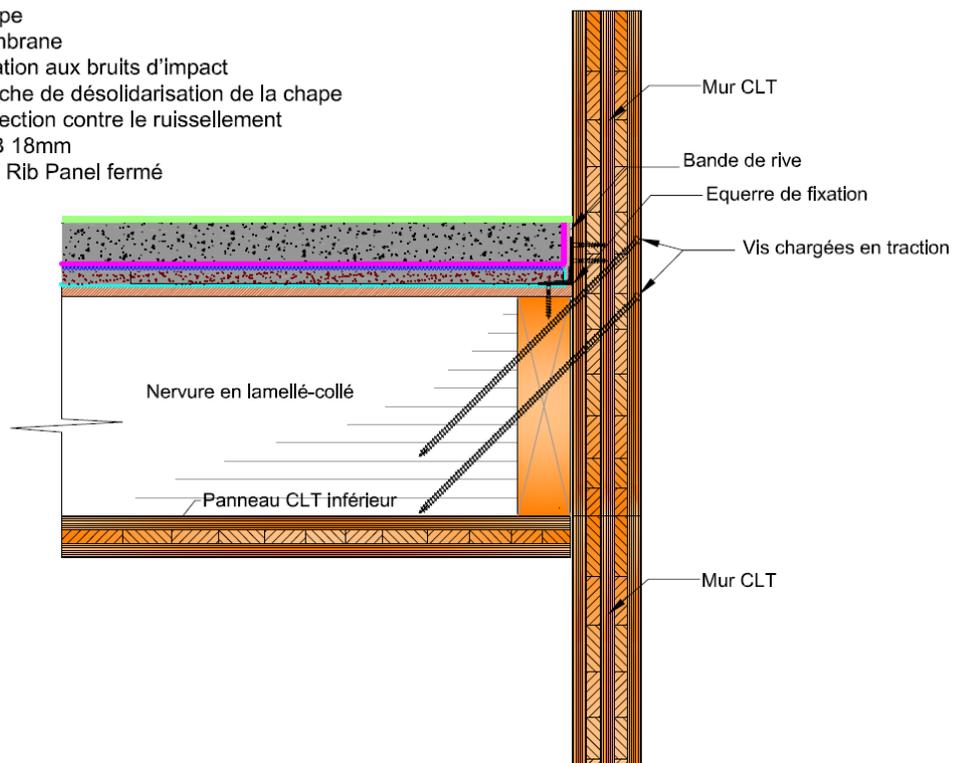
- Revêtement de sol
- Chape
- Membrane
- Isolation aux bruits d'impact
- Couche de désolidarisation de la chape
- Protection contre le ruissellement
- OSB 18mm
- CLT Rib Panel fermé



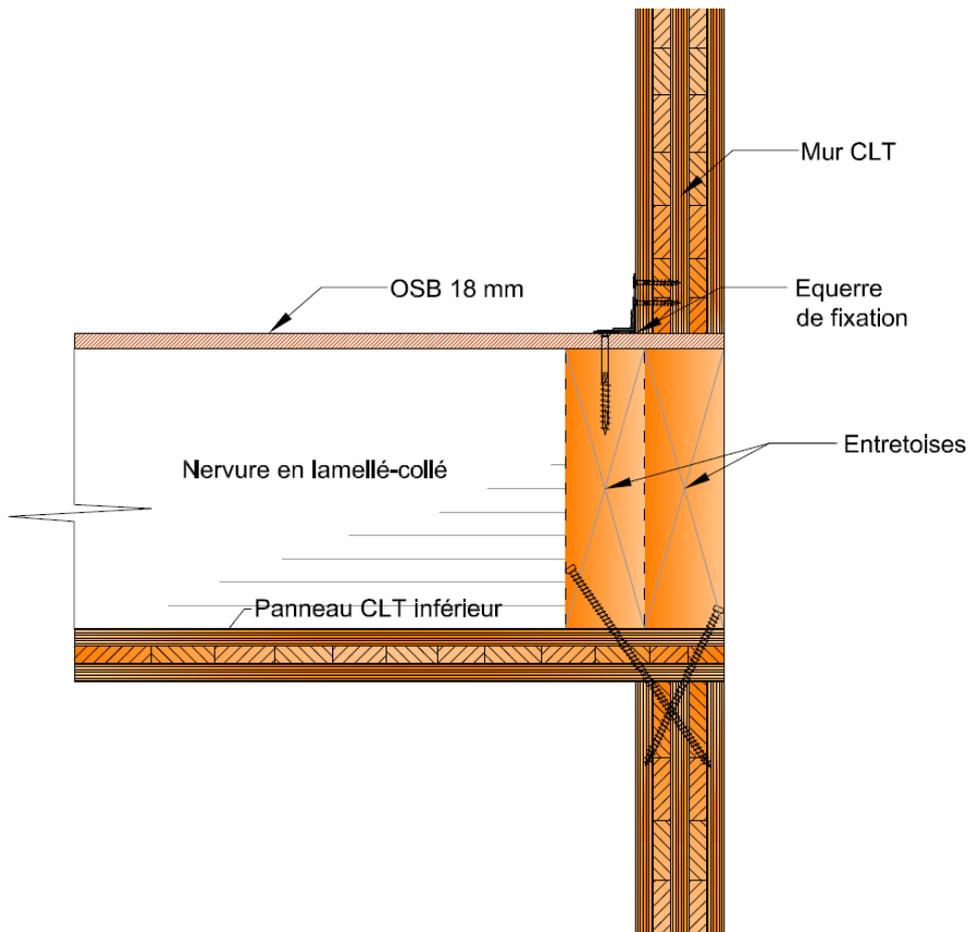
### Support avec vis de traction

#### Composition du plancher

- Revêtement de sol
- Chape
- Membrane
- Isolation aux bruits d'impact
- Couche de désolidarisation de la chape
- Protection contre le ruissellement
- OSB 18mm
- CLT Rib Panel fermé



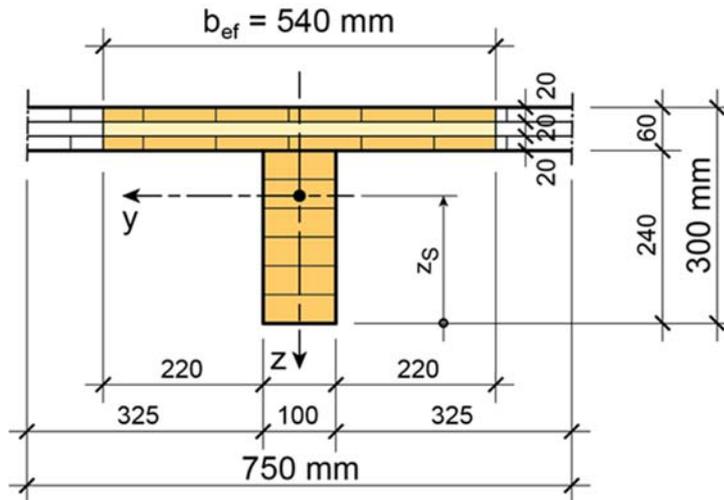
*Support avec double entretoises*



## 2.6. Annexe 1 au dossier technique

Exemple de calcul d'une rigidité efficace ( $EI$ )<sub>ef</sub> en flexion d'un élément CLT Rib Panel

ELU



**Situation ( $t = 0$ )**

Centre de gravité COG (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ):

$$z_s = \frac{\sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} = \frac{9,200 \cdot 100 \cdot 240 \cdot 120 + 10,000 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20 \cdot (240 + 30)}{9,200 \cdot 100 \cdot 240 + 10,000 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20} = 194 \text{ mm}$$

$$e = h_{GLT} / 2 + h_{CLT} / 2 = 240 / 2 + 60.0 / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$e_{GLT} = z_s - h_{GLT} / 2 = 194 - 240 / 2 = 74.0 \text{ mm}$$

$$e_{CLT} = h_{GLT} + h_{CLT} / 2 - z_s = 240 + 60.0 / 2 - 194 = 76.0 \text{ mm}$$

Rigidité en flexion (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ):

$$\begin{aligned} (EI)_{y,ef} &= \sum_i E_i \cdot I_{y,i} + \sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i^2 = \\ &= 9,200 \cdot \left( \frac{100 \cdot 240^3}{12} + 100 \cdot 240 \cdot 74.0^2 \right) + 10,000 \\ &\quad \cdot \left\{ 2 \cdot \frac{540 \cdot 20^3}{12} + 540 \cdot 20 \cdot \left[ \left( 240 + 60 - 40 - \frac{20}{2} - 194 \right)^2 + \left( 240 + 60 - \frac{20}{2} - 194 \right)^2 \right] \right\} = 3.61 \cdot 10^{12} \text{ N} \cdot \text{mm}^2 \end{aligned}$$

**Situation ( $t = \infty$ )**

Centre de gravité COG (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ):

$$z_s = \frac{\sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} = \frac{7,797 \cdot 100 \cdot 240 \cdot 120 + 8,065 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20 \cdot (240 + 30)}{7,797 \cdot 100 \cdot 240 + 8,065 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20} = 192 \text{ mm}$$

$$e = h_{GLT} / 2 + h_{CLT} / 2 = 240 / 2 + 60.0 / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$e_{GLT} = z_s - h_{GLT} / 2 = 192 - 240 / 2 = 72.0 \text{ mm}$$

$$e_{CLT} = h_{GLT} + h_{CLT} / 2 - z_s = 240 + 60.0 / 2 - 192 = 78.0 \text{ mm}$$

Rigidité en flexion (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ):

$$(EI)_{y,ef} = \sum_i E_i \cdot I_{y,i} + \sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i^2 =$$

$$= 7,797 \cdot \left( \frac{100 \cdot 240^3}{12} + 100 \cdot 240 \cdot 72.0^2 \right) + 8,065$$

$$\cdot \left\{ 2 \cdot \frac{540 \cdot 20^3}{12} + 540 \cdot 20 \cdot \left[ \left( 240 + 60 - 40 - \frac{20}{2} - 192 \right)^2 + \left( 240 + 60 - \frac{20}{2} - 192 \right)^2 \right] \right\} = 3.00 \cdot 10^{12} N \cdot mm^2$$

## ELS

### Situation (t = 0)

Centre de gravité COG (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ) :

$$z_s = \frac{\sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} = \frac{11,500 \cdot 100 \cdot 240 \cdot 120 + 12,500 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20 \cdot (240 + 30)}{11,500 \cdot 100 \cdot 240 + 12,500 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20} = 194 \text{ mm}$$

$$e = h_{GLT} / 2 + h_{CLT} / 2 = 240 / 2 + 60.0 / 2 = 150 \text{ mm}$$

$$e_{GLT} = z_s - h_{GLT} / 2 = 194 - 240 / 2 = 74.0 \text{ mm}$$

$$e_{CLT} = h_{GLT} + h_{CLT} / 2 - z_s = 240 + 60.0 / 2 - 194 = 76.0 \text{ mm}$$

Rigidité en flexion (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ):

$$(EI)_{y,ef} = \sum_i E_i \cdot I_{y,i} + \sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i^2$$

$$= 11,500 \cdot \left( \frac{100 \cdot 240^3}{12} + 100 \cdot 240 \cdot 74.0^2 \right) + 12,500 \cdot \left\{ 2 \cdot \frac{540 \cdot 20^3}{12} + 540 \cdot 20 \cdot \left[ \left( 240 + 60 - 40 - \frac{20}{2} - 194 \right)^2 + \left( 240 + 60 - \frac{20}{2} - 194 \right)^2 \right] \right\}$$

$$= 4.51 \cdot 10^{12} N \cdot mm^2$$

### Situation (t = ∞)

Centre de gravité COG (avec  $E_{90,CLT} = 0$ ) :

$$z_s = \frac{\sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i}{\sum_i E_i \cdot A_i} = \frac{19,166 \cdot 100 \cdot 240 \cdot 120 + 15,625 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20 \cdot (240 + 30)}{19,166 \cdot 100 \cdot 240 + 15,625 \cdot 540 \cdot 2 \cdot 20} = 183 \text{ mm}$$

$$e_{GLT} = z_s - \frac{h_{GLT}}{2} = 183 - \frac{240}{2} = 63 \text{ mm}$$

$$e_{CLT} = h_{GLT} + \frac{h_{CLT}}{2} - z_s = 240 + \frac{60}{2} - 183 = 87 \text{ mm}$$

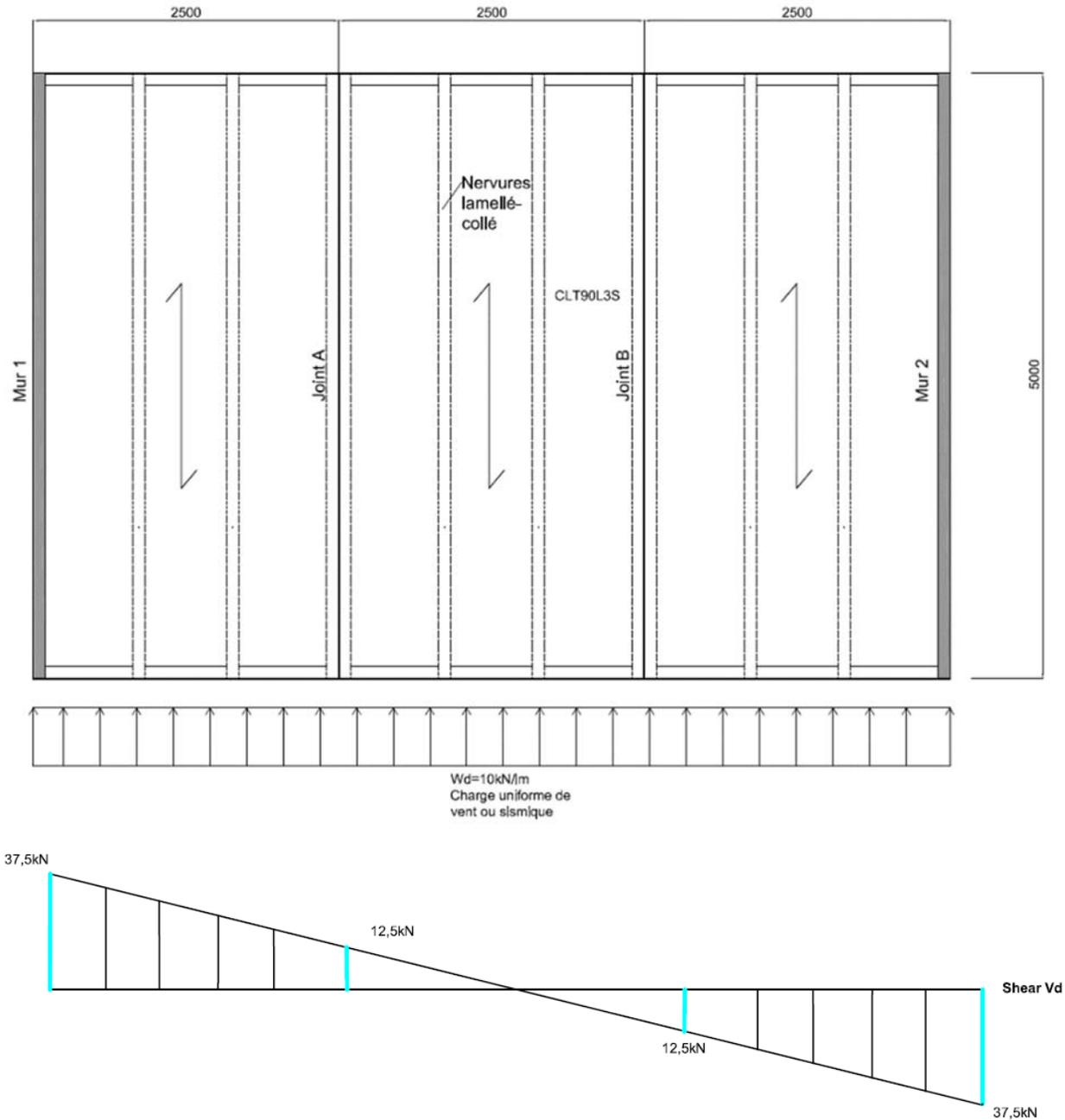
$$(EI)_{y,creep,ef} = \sum_i E_i \cdot I_{y,i} + \sum_i E_i \cdot A_i \cdot e_i^2 = 19,166 \cdot \left( \frac{100 \cdot 240^3}{12} + 100 \cdot 240 \cdot 63^2 \right) + 15,625$$

$$\cdot \left\{ 2 \cdot \frac{540 \cdot 20^3}{12} + 540 \cdot 20 \cdot \left[ \left( 240 + 60 - 40 - \frac{20}{2} - 183 \right)^2 + \left( 240 + 60 - \frac{20}{2} - 183 \right)^2 \right] \right\} = 6.73 \cdot 10^{12} N \cdot mm^2$$

## 2.7. Annexe 2 au dossier technique

Exemple de dimensionnement d'un CLT RIB PANEL en application diaphragme

Figure 58 : Exemple de diaphragme CLT RIB PANEL avec diagramme de l'effort tranchant associé



Effort tranchant maximal au niveau des murs périphériques 1 et 2 :

$$V_d = \frac{W_d \cdot L}{2} = \frac{10 \cdot 7,5}{2} = 37,5 \text{ kN}$$

Effort tranchant maximal au niveau des joints A et B entre CLT RIB PANEL :

$$V_d = \frac{W_d \cdot L}{2} = \frac{10 \cdot 2,5}{2} = 12,5 \text{ kN}$$

Force linéaire à reprendre dans les joints A et B :

$$V_{d,joint} = \frac{V_d}{l} = \frac{12,5}{5} = 2,5 \text{ kN/m} \text{ doit être transféré d'un panneau à l'autre}$$

Force linéaire à reprendre dans les murs périphériques 1 et 2 :

$$V_{d,mur} = \frac{V_d}{l} = \frac{37,5}{5} = 7,5 \text{ kN/m} \text{ doit être transféré à chaque mur périphérique}$$

**Cisaillement coplanaire des panneaux CLT 90L3S :**

- Cisaillement du panneau entier en section nette à l'intersection des plis (mode de rupture II)

Epaisseur nette considérée  $t = 60\text{mm}$

$$\tau_0 = \frac{n_{xy,RVSE}}{a \cdot t} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{1000 \cdot 60} = 0,125\text{N/mm}^2$$

$$\tau_v = 2 \cdot \tau_0 = 2 \cdot 0,125 = 0,25\text{N/mm}^2$$

$$f_{v,ip,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,ip,CLT,k}}{\gamma_{m,CLT}} = \frac{0,8 \cdot 8}{1,25} = 5,12\text{N/mm}^2$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,ip,CLT,d}$$

$$0,25\text{N/mm}^2 \leq 5,12\text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

- Cisaillement au croisement des planches collées entre plis (mode de rupture III)

# of RVSE	Ideal thickness $t_i^*$
1	$t_1^* = \min(2 t_1; t_2)$
2	$t_2^* = \min(t_2; 2 t_3)$

$$t_i^* = 30\text{mm}$$

Largeur maximale de lamelle  $a = 150\text{mm}$

$$\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{0,d} \cdot \frac{t_i^*}{a} = 3 \cdot 0,125 \cdot \frac{30}{150} = 0,075\text{N/mm}^2$$

$$f_{T,ip,CLT,d} = \frac{0,8 \cdot 2,5}{1,25} = 1,6\text{N/mm}^2$$

$$\tau_{T,d} \leq f_{T,ip,CLT,d}$$

$$0,075\text{N/mm}^2 \leq 1,6\text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

**Dimensionnement des connecteurs**

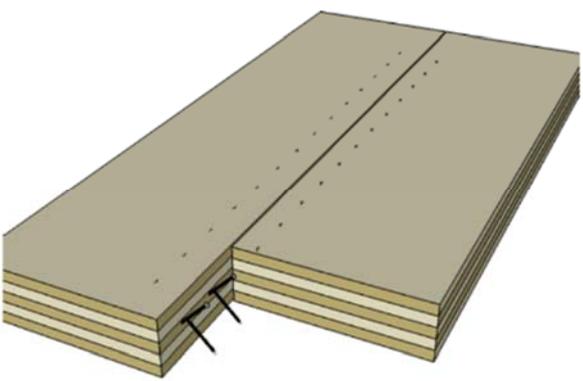
Toutes les valeurs caractéristiques de la capacité d'arrachement axial, de la portance locale, moment d'écoulement plastique, les distances au bord et de rive minimales etc... sont disponibles dans les ETA des fournisseurs de connecteurs.

- Transfert des efforts de cisaillement dans les joints entre panneaux

Au niveau des joints A et B, le couturage se fera via des vis en diagonales (45°) Rothoblaas VGZ 7/100

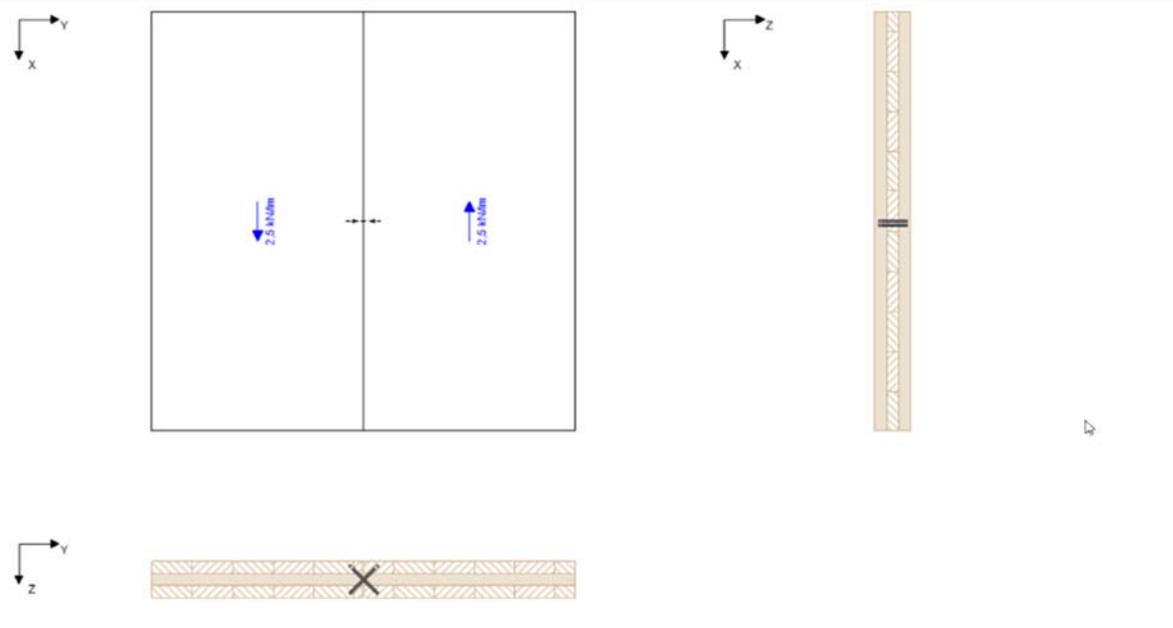
$$V_{d,joint} = 2,5\text{kN/m}$$

**connection**



$F_x$	2.5	kN/m
$F_y$	0	kN/m
$F_z$	0	kN/m
$K_{mod}$	1	-
material 1	C24 spruce	
panel 1	CLT 90 L3s	
orientation cover layer	X direction	
connector type	Rothoblaas VGZ	
connectors	7/100	
setup	crossed	
diameter	7	mm
head diameter	9.5	mm
length	100	mm
thread length	90	mm
pre-drilled	x	

**Assemblage**



**espacement minimum**

Name	$a_{1,min}$	$a_{2,min}$	$a_{3c,min}$	$a_{3t,min}$	$a_{4c,min}$	$a_{4t,min}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CLT gauche	35	11	42	42	28	42
CLT droite	35	11	42	42	28	42

## résultat par couche

Élément 1							Élément 2						
X	Dicke	Typ	$\alpha$	$l_{eff}$	$l_{eff,v}$	$F_{ax,flk}$	X	Dicke	Typ	$\alpha$	$l_{eff}$	$l_{eff,v}$	$F_{ax,flk}$
[mm]	[mm]		[°]	[mm]	[mm]	[N]	[mm]	[mm]		[°]	[mm]	[mm]	[N]
0	17	L	90	0	0	0	0	30	L	90	0	0	0
17	13	L	90	18,8	13,3	1539	30	15	C	45	0	0	0
30	11	C	45	16,2	11,5	1207	45	15	C	45	21,2	15	1579
41	19	C	45	0	0	0	60	10	L	90	13,8	9,7	1129
60	30	L	90	0	0	0	70	20	L	90	0	0	0

## Assemblage

$b_{1,min}$	$b_{2,min}$	$f_{h,k,1}$	$f_{h,k,2}$	$\beta$	$t_{pen,1}$	$t_{pen,2}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$t_{1,req}$	$t_{2,req}$
[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0	0	22,68	22,68	1,00	50,00	50,00	35,00	35,00	37	37

$M_{y,z,k}$	$F_{ax,flk}$	$F_{head,flk}$	$F_{tens,flk}$	$F_{Rz,flk}$	$F_{v,flk}$	$F_{v,fd}$	$F_{v,fd}$	$F_{ax,fd}$	$F_{ax,fd}$	Anz.	Anz-max	$a_{eff}$
[Nm]	[N]	[N]	[kN]	[kN]	[N]	[N]	[kN/m]	[N]	[kN/m]	[Stk/m]	[Stk/m]	[mm]
14174,16	2708,56	0,000	15,400	9,413	3116,70	2397,46	2,50	2083,51	0,00	1,04	40,41	500

## Analyse

Nachweis	Vorhanden	Grenzwert	Einheit	Utilisation
épaisseur 1	50	37	mm	74 %
épaisseur 2	50	37	mm	74 %
Fv	625	2397,462	N	26 %
nombre	1,043	40,406	nombre / ml	3 %

OK

- Transfert des forces de cisaillement aux murs verticaux

$$V_{d,mur} = \frac{V_d}{l} = \frac{37,5}{5} = 7,5 \text{ kN/m}$$

Le transfert de cisaillement du diaphragme au mur peut se faire de différentes manières.

Etant donné que le joint de colle entre le CLT et la nervure n'a pas été testé sous charge cyclique, la reprise des efforts se fera dans un premier temps via les vis à filetage partiel qui connectent CLT et nervure en lamellé-collé (qui sont également utilisées pour le dimensionnement structurel en situation d'incendie).

Lorsque le CLT RIB PANEL repose directement sur les murs, le transfert se fait ensuite de la nervure en lamellé-collé au mur CLT sur lequel elle repose via soit des plaques métallique visées, soit des vis inclinées (Voir 17-17 et 17-18).

Lorsque le CLT RIB PANEL s'arrête au niveau de la face du mur CLT avec un support métallique (sabot, étrier en âme...), la reprise des efforts horizontaux se fait directement du panneau CLT au mur CLT via des équerres de cisaillement comme pour un panneau CLT standard. (Voir Figure 59).

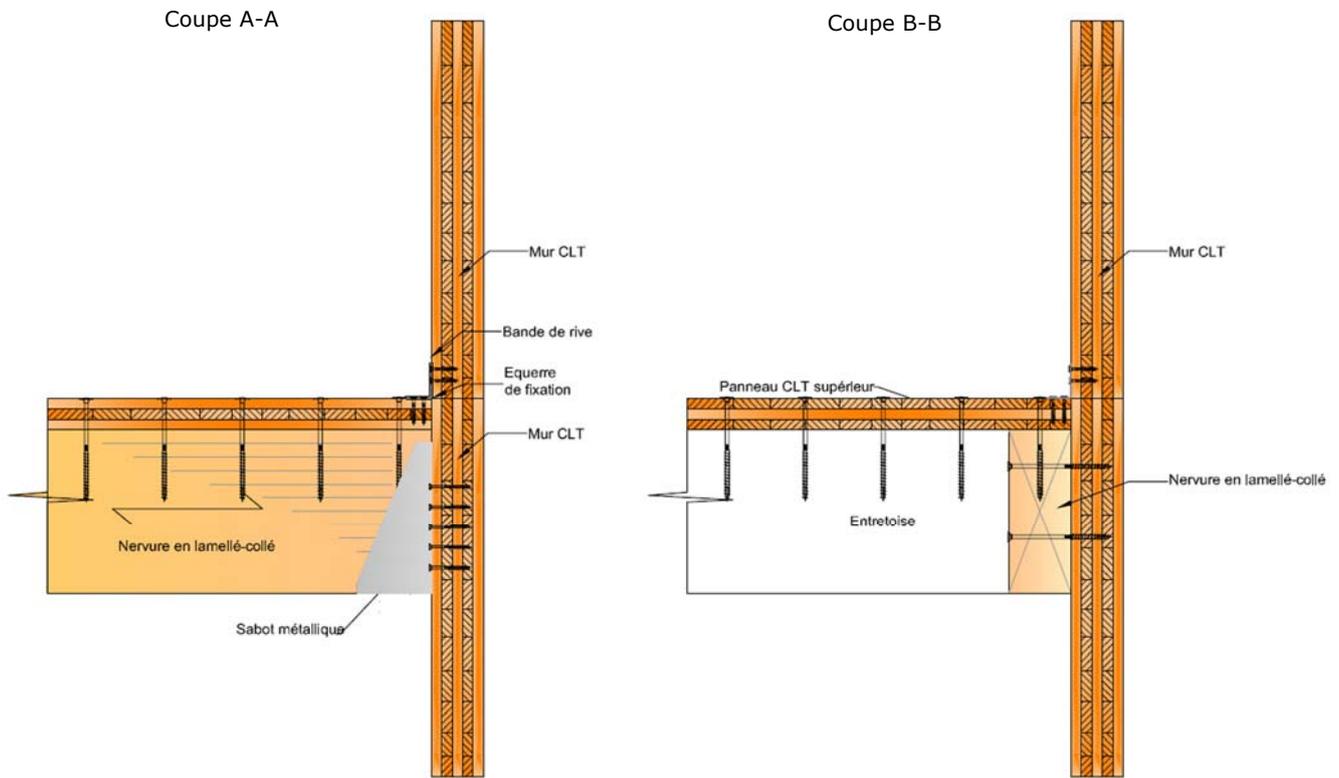
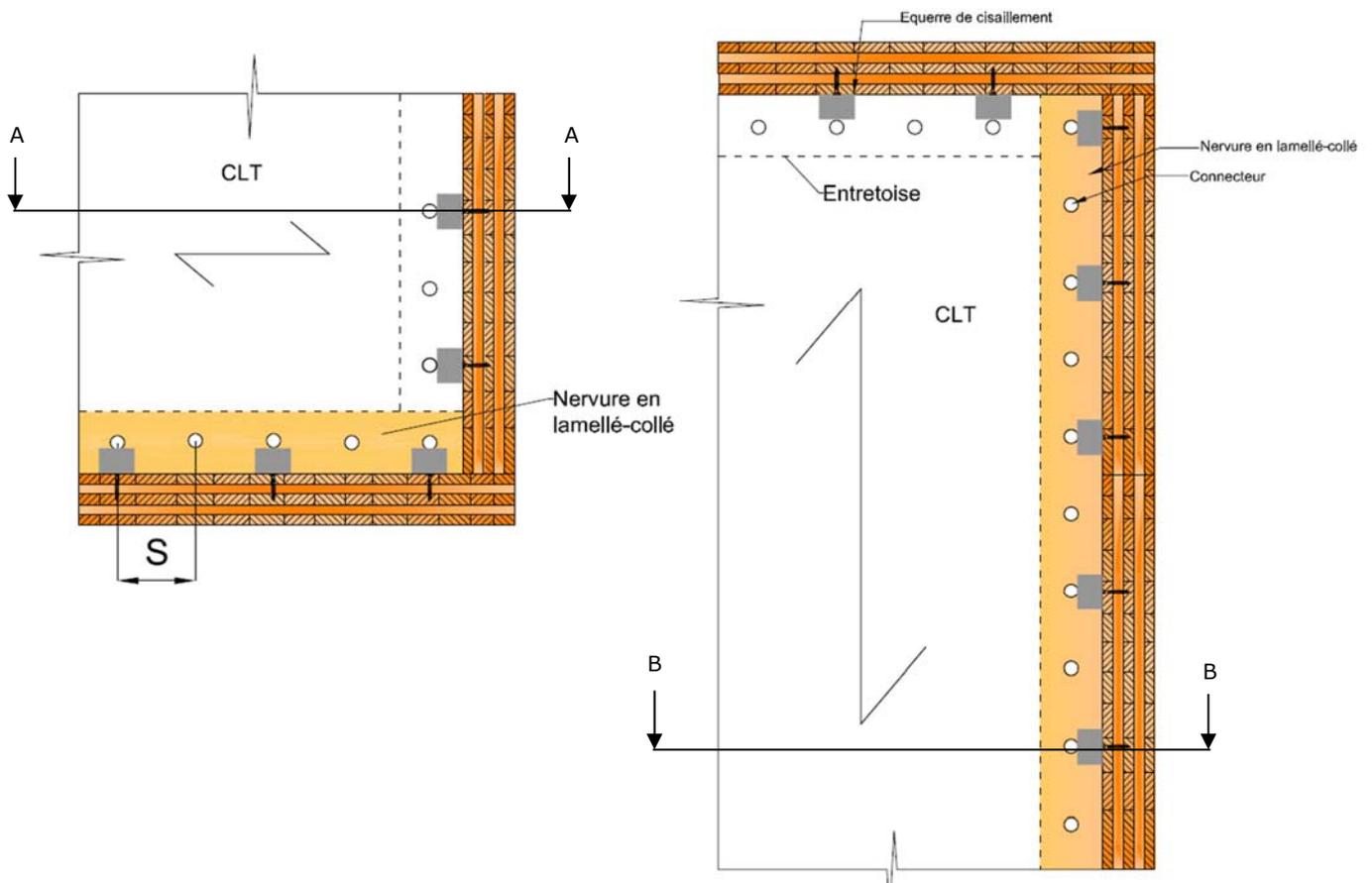


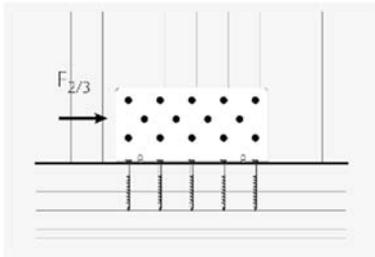
Figure 59 : Application diaphragme avec transfert par équerre de cisaillement à travers le CLT



- Transfert du CLT au mur CLT (pour CLT RIP PANEL posant contre le mur CLT)

Une force de  $F_{v,ed} = 37,5kN$  doit être transférée sur la longueur du CLT RIP PANEL.

Utilisation d'équerre de cisaillement Rothoblass TITAN TTS240 avec Vis HBS Ø8,0 x 80



Avec 14 vis :

$$f_{v,r,k} = 25 \text{ kN}$$

$$f_{v,r,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,r,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 25}{1,30} = 15,38 \text{ N/Equerre}$$

Nombre d'équerre requis :

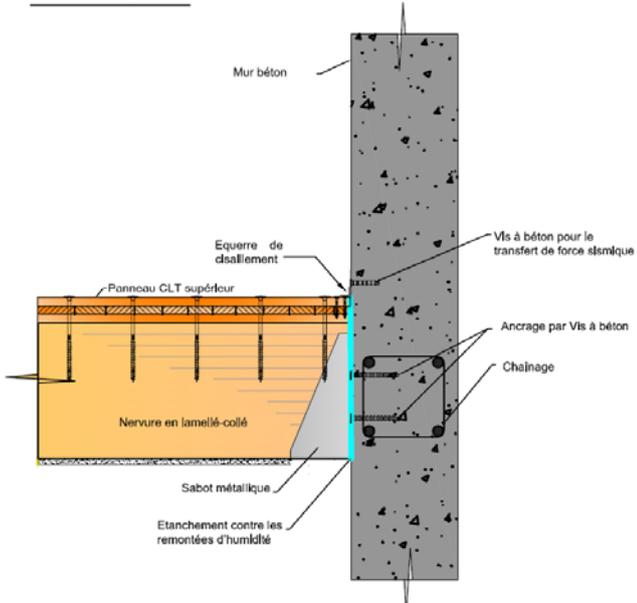
$$n_{req,d} = \frac{F_{v,ed}}{f_{v,r,d}} = \frac{37,5}{15,38} = 2,44$$

Donc 3 équerres seront nécessaires avec 14 vis HBS Ø8,0 x 80 par face, soit 28 vis par équerres.

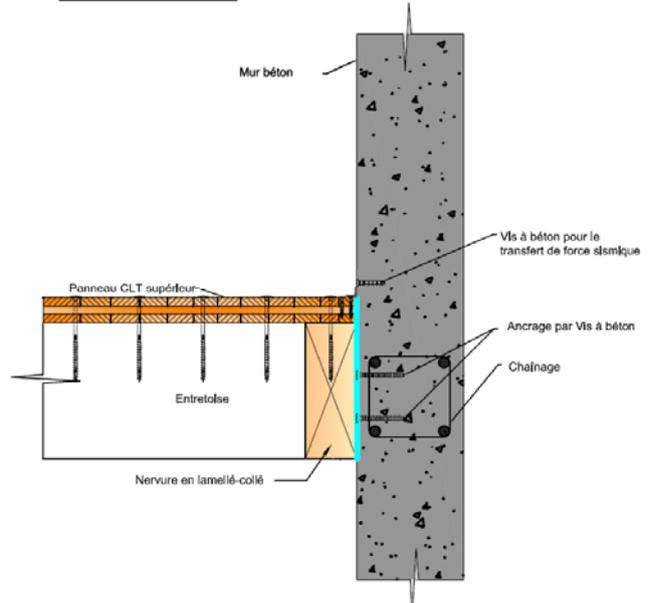
$$\text{Distance entre équerre} = \frac{5000}{3} = 1667 \text{ mm d'entraxe}$$

Figure 60: Connexion type d'un CLT RIB PANEL ouvert à un mur béton par sabot métallique

Vue de face



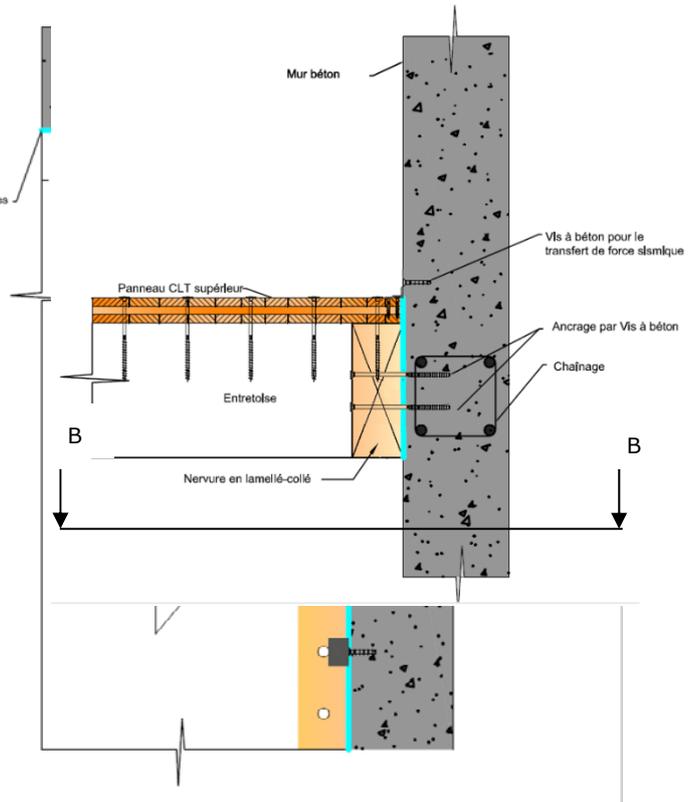
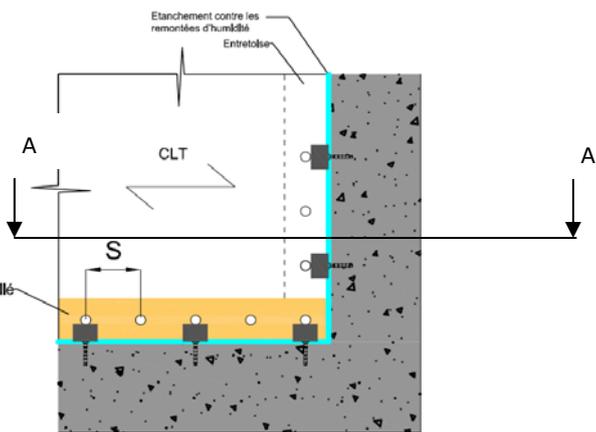
Vue de droite



Coupe A-A

Coupe B-B

Vue de dessus



**Figure 61 : Connexion type d'un CLT RIB PANEL inversé à un mur béton par cornière métallique (disposition utilisable en situation sismique)**

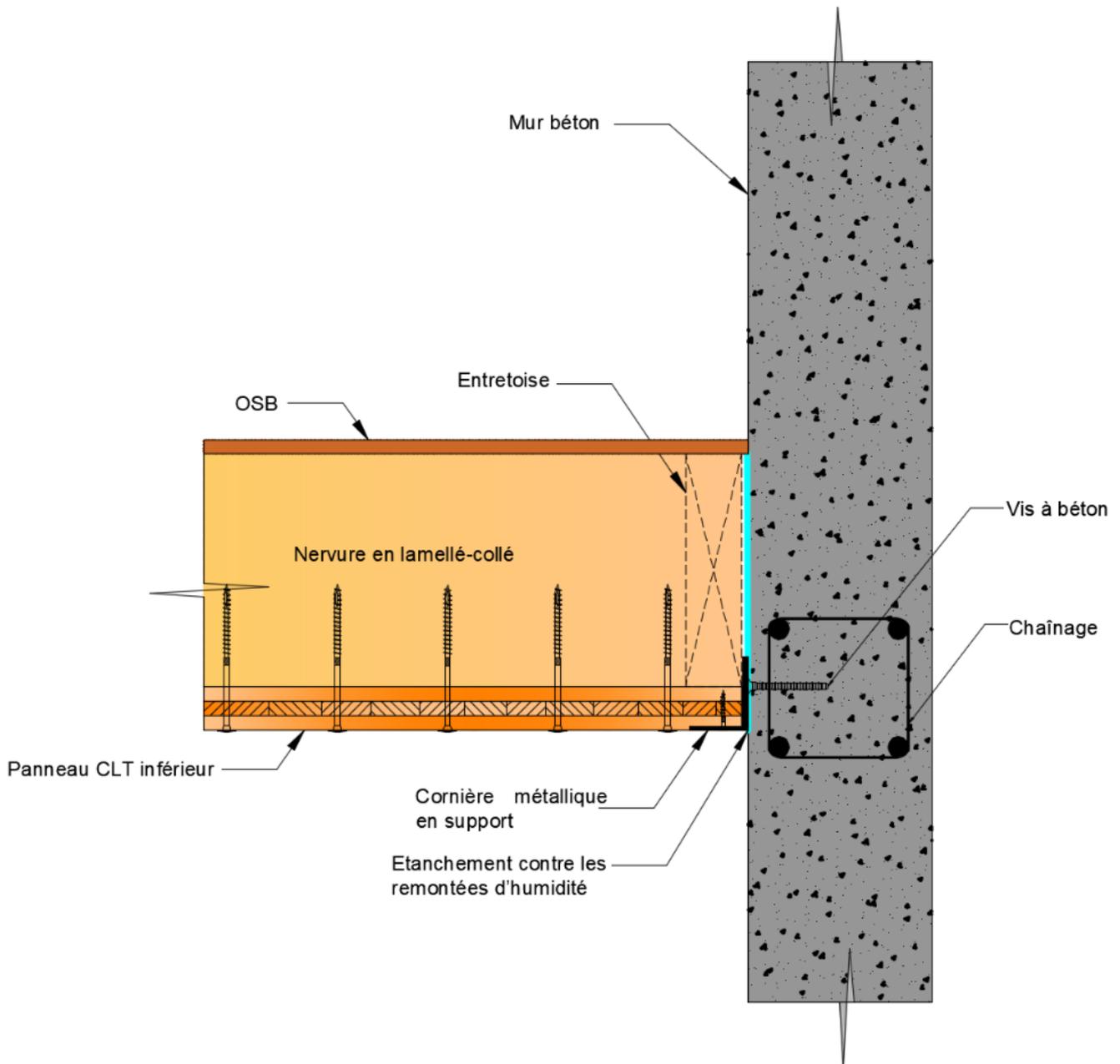


Figure 62: Connexion type d'un CLT RIB PANEL à une structure métallique

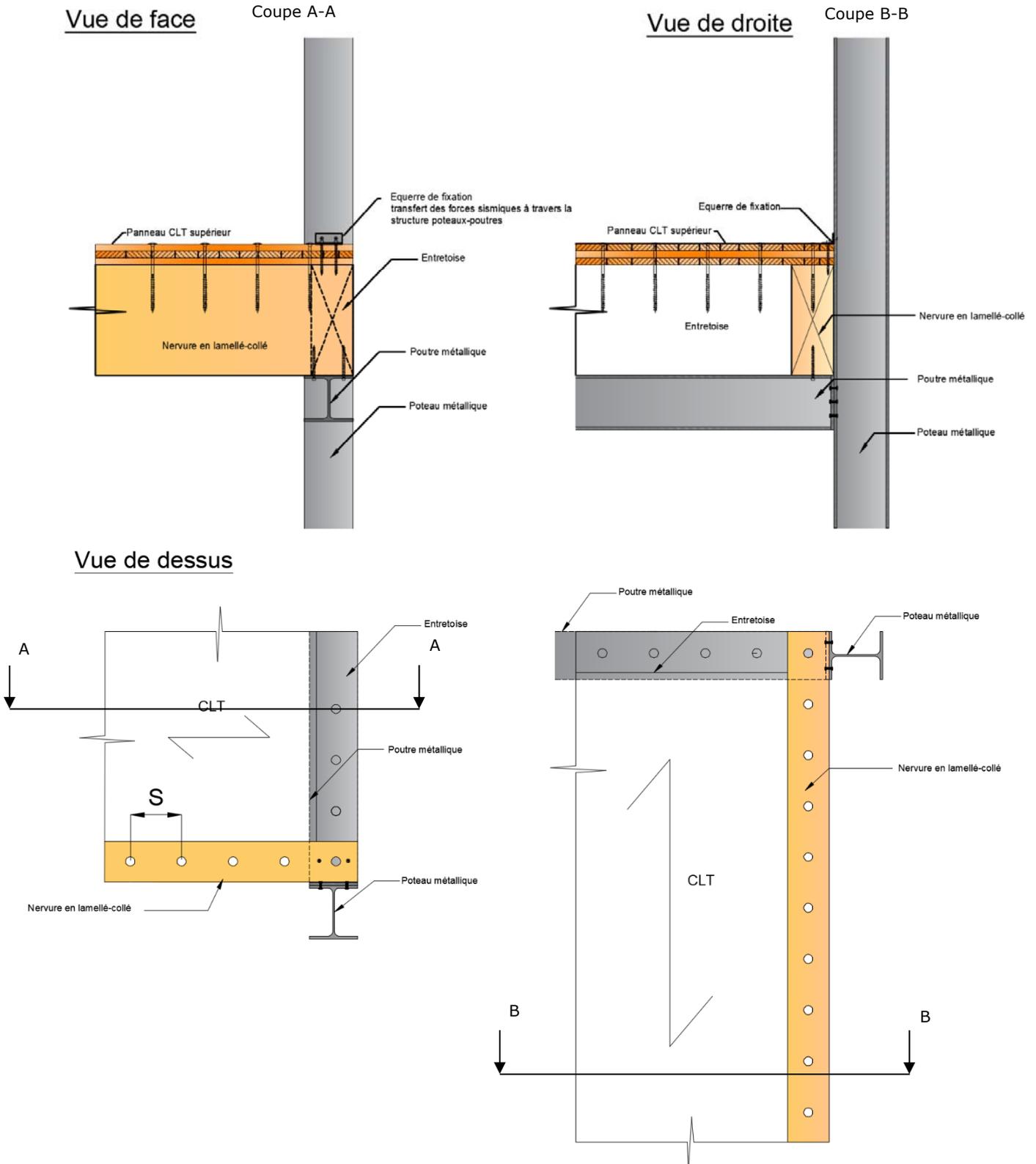


Figure 63: Connexion type d'un CLT RIB PANEL à une structure métallique

