

# Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **3/13-750**

*Panneaux bois à usage  
structurel  
Wood structural panels*

## Stora Enso CLT

Relevant de l'Agrément  
Technique Européen

**ETA-08/0271**

- Titulaire :** Stora Enso Wood Products Oy Ltd  
Lintulahdenkuja10  
FI- 00500 Helsinki, Finlande  
Tél. : +43 7412 53033 4310  
Fax : +43 7412 53033 4430  
E-mail : [clt.info@storaenso.com](mailto:clt.info@storaenso.com)  
Internet : [www.clt.info](http://www.clt.info)
- Usines :** Stora Enso WP Bad St. Leonhard GmbH  
Wisperndorf 4  
A-9462 Bad St. Leonhard, Autriche  
Stora Enso Wood Products GmbH  
Bahnhofstraße 31  
A-3370 Ybbs, Autriche
- Distributeur :** Stora Enso France  
Tour EUROPLAZA – Défense 4, 20 avenue André Prothin  
FR-92927 Paris La Défense Cedex, France  
Tél. : +33 (0)1 46 95 90 42  
Fax : +33 (0)1 46 95 90 23  
E-mail : [didier.sauvage@storaenso.com](mailto:didier.sauvage@storaenso.com)  
Internet : [www.storaenso.com](http://www.storaenso.com)

Commission chargée de formuler des Avis Techniques  
(arrêté du 21 mars 2012)

### Groupe Spécialisé n° 3

Structures, planchers et autres composants structuraux

Vu pour enregistrement le

**Le Groupe spécialisé n° 3 « Structures, planchers et autres composants structuraux » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné le 1<sup>er</sup> octobre 2013 la demande relative au procédé de panneau bois à usage structural STORA ENSO CLT, présentée par la société STORA ENSO. Le présent document, auquel est annexé le dossier technique établi par le demandeur, transcrit l'avis formulé par le Groupe Spécialisé n° 3 sur les dispositions de mise en œuvre proposées pour l'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi visé et dans les conditions de la France Européenne. A cet Avis est associé un suivi des conditions de fabrication et de contrôle, à l'application desquelles est soumise sa validité**

## 1. Définition succincte

### 1.1 Description succincte

Les panneaux structuraux Stora Enso CLT sont des panneaux de grandes dimensions constitués de planches en bois massif de classe minimum C24 séchées et calibrées. Les planches sont empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface. Les panneaux structuraux Stora Enso CLT comportent de 3 à 20 plis et sont destinés à la réalisation de planchers, de murs porteurs à fonction de contreventement.

Les panneaux Stora Enso CLT ont les dimensions suivantes :

- Longueur jusqu'à 16.0 m
- Largeur de 2.45 à 2.95 m
- Epaisseur de 60 à 320 mm

Les panneaux structuraux Stora Enso CLT sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

### 1.2 Identification

Après fabrication selon le protocole décrit au § 5.1 les panneaux sont identifiés de la façon suivante :

- 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 panneau (N° de position, épaisseur, nombre et direction des couches, qualité),
- Le lieu de fabrication.

Les panneaux Stora Enso CLT font l'objet d'une déclaration des performances établie par le fabricant sur la base de l'agrément Technique Européen ETA-08/0271 utilisé en tant qu'Evaluation Technique Européenne.

## 2. AVIS

L'Avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique joint, dans les conditions fixées au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (§2.2).

### 2.1 Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi proposé (§1 de la description) est accepté par le Groupe Spécialisé n°3, à savoir les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après.

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.

Pour la réalisation de planchers et de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement, le procédé est limité à la réalisation de bâtiments d'habitation jusqu'à la troisième famille comprise, ainsi qu'aux bâtiments industriels, agricoles et établissements recevant du public. Les limitations du domaine d'emploi résultent alors du respect de la réglementation en vigueur applicable à ces bâtiments

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.

Pour la réalisation des planchers, 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, et D1 au sens de la norme NF EN1991-1-1.

L'Avis est formulé en excluant la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles. 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.

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

Les ouvrages enterrés en panneaux Stora Enso CLT sont exclus du domaine d'emploi.

Les utilisations des panneaux Stora Enso CLT en support de couverture et élément porteur d'étanchéité n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent Avis.

Les entures de grandes dimensions n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent Avis.

La mise en œuvre d'un système d'isolant thermique extérieure par enduit sur isolant sur les panneaux Stora Enso CLT doit faire l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois dans les limitations d'usage de celui-ci.

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.

### 2.1 Appréciation sur le procédé

#### 2.1.1 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 au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (§2.21 ci-après et Annexe 1).

##### Sécurité au feu

###### 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 STORA ENSO CLT, qu'ils soient utilisés en tant que porteur vertical ou horizontal, sont à même de satisfaire des degrés de stabilité au feu dans les conditions précisées dans l'Avis de laboratoire de résistance au feu AL 12-103.

###### Réaction au feu

Les panneaux STORA ENSO CLT bruts 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

Dans les bâtiments pour lesquels il existe une exigence C+D, le calfeutrement en nez de plancher et autour des baies doit être réalisé selon l'IT 249.

##### Sécurité en cas de séisme

Le procédé STORA ENSO CLT peut satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières.

## Prévention des accidents et maîtrise 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. Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux STORA ENSO CLT destinés à la réalisation de murs munis d'ouvertures et transportés tels quels. 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.

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 STORA ENSO CLT, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étalement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction. D'une manière générale, et quelle que soit la fonction du panneau STORA ENSO CLT dans l'ouvrage, la mise en œuvre des panneaux STORA ENSO CLT impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

### Isolation thermique

Le procédé STORA ENSO CLT présente une isolation thermique « moyenne » évaluée par le coefficient U de transmission surfacique calculable conformément aux règles Th-U, 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  $\leq 500$  kg.m<sup>-3</sup>.

Les panneaux STORA ENSO CLT, peuvent nécessiter, selon leur emplacement dans l'ouvrage, la mise en œuvre d'une isolation thermique complémentaire.

Les valeurs et dispositions décrites dans les figures du Dossier Technique sont données à titre indicatif et n'ont pas été examinées par le GS n°3, une étude devra être réalisée au cas par cas. Sur les figures sont indiqués les isolants qui sont prescrits dans le DTU 31.2-1-2 (CGM).

### Isolation acoustique

Les panneaux STORA ENSO CLT seuls, qu'ils soient utilisés en tant que murs ou planchers, 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 à partir d'essais, suivant §6.7 du D.T et rapport d'essais cités en résultats expérimentaux

Étanchéité à l'eau

Les panneaux STORA ENSO CLT eux-mêmes ne sont pas destinés à jouer un rôle vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau.

### Données environnementales et sanitaire

Le procédé fait l'objet d'une FDES citée dans le paragraphe B du Dossier Technique. Il est toutefois rappelé que les FDES n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

## 2.12 Durabilité - Entretien

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les panneaux STORA ENSO CLT aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée soit du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée, soit par l'application d'un traitement de préservation dans les conditions fixées au § 2.217 du Cahier des prescriptions techniques particulières.

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 STORA ENSO CLT répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données au Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (§ 2.217 ci-après).

## 2.13 Fabrication et contrôle

La fabrication des panneaux STORA ENSO CLT est assurée exclusivement par la société Stora Enso dans les usines de Ybbs et Bad St. Leonhar en Autriche. 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 l'organisme autrichien « Holzforschung Austria » .

## 2.2 Cahier des prescriptions techniques particulières

### 2.21 Conditions de conception et de calcul

Lorsque des panneaux STORA ENSO CLT sont utilisés comme murs pour assurer le contreventement, il est possible :

- Soit de les considérer comme une succession de panneaux isolés les uns des autres. Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastres en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m. Il est également nécessaire de s'assurer de la présence d'une lisse haute transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cette lisse.
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part. Les dispositifs de liaisons entre panneaux sont ceux indiqués au Dossier Technique.

La conception et le calcul des panneaux STORA ENSO CLT sont à la charge du bureau d'études techniques référencé par le service d'assistance technique STORA ENSO CLT qui doit également fournir un plan de pose complet. STORA ENSO prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre.

Les charges d'exploitation à prendre en considération dans les calculs sont celles précisées par la norme NF EN 1991 moyennant les limitations décrites au §2.1 du présent Avis.

### 2.211 Vérifications en phase définitive des éléments porteurs horizontaux

Les vérifications de la résistance sous l'effet du moment fléchissant et de l'effort tranchant peuvent être menées comme dit au §6.2 du Dossier Technique, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients  $k_{mod}$  fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §6.24 du Dossier Technique. Il est tenu compte du fluage en multipliant la flèche totale (flèche due au moment fléchissant + flèche due à l'effort tranchant) par le coefficient  $k_{def}$  pris selon la norme NF EN 1995-1-1.

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 STORA ENSO CLT.

- 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 STORA ENSO CLT.
- En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des éléments STORA ENSO CLT 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  $\leq 5,0$  m ; ou  $0,5$  cm +  $L/1000$  de la portée si celle-ci est supérieure à 5,0 m, sinon ;
- Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :
  - soit  $L/350$  de la portée si celle-ci est  $\leq 3,50$  m
  - soit  $0,5$  cm +  $L/700$  de la portée si celle-ci est supérieure à 3,50 m

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.

### 2.212 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 EN 1995-1-1 §6.23.

## 2.213 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul est donné dans §6.3 du Dossier Technique. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, la charge verticale est considérée comme excentrée de 1/6 de l'épaisseur du panneau.

Lorsque les panneaux STORA ENSO CLT utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §6.34 du dossier technique).

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. Il convient de se reporter au §6.34 du Dossier Technique pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

## 2.214 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

Les vérifications de la résistance sous l'effet des contraintes cisaillement peuvent être menées comme dit au §6.2 du Dossier Technique, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients  $k_{mod}$  fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §6.2 du Dossier Technique.

Les ancrages, reprenant les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales, sont dimensionnés pour ne reprendre que ces efforts. L'effort tranchant à la base des éléments porteurs verticaux est alors équilibré par des connecteurs dédiés à cet usage et n'intervenant pas dans l'équilibrage des efforts de soulèvement.

Lorsque des panneaux STORA ENSO CLT munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme une succession de consoles isolées les unes des autres, libres en tête et encastées en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m.

Lorsque des panneaux STORA ENSO CLT munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il doit être vérifié que la « membrure » supérieure du panneau est capable de transmettre l'effort horizontal en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.

## 2.215 Conception des assemblages

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux STORA ENSO CLT entre eux ou des panneaux STORA ENSO CLT à d'autres éléments de structure en matériaux bois doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592.

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent faire l'objet d'un Agrément Technique Européen.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés en regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et son amendement A1.

## 2.216 Utilisation en zone sismique

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux STORA ENSO CLT doit être menée suivant le principe de comportement de structure soit dissipatif (Classe de ductilité M) soit 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 de la norme NF EN 1998-1-1. Le spectre de calcul est déterminé à partir du spectre de réponse élastique en accélération en appliquant un coefficient de comportement  $q=2,0$  pour la classe DCM et  $q=1,5$  pour la classe DCL.

Les critères de régularité en plan et en élévation 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.

La conception de l'ouvrage suivant le principe de comportement de structure dissipatif impose de porter la plus grande attention à la conception des assemblages entre panneaux (vis de liaison, équerres, etc.) au regard des efforts de cisaillement engendrés par l'action sismique. A ce titre, il convient :

- de hiérarchiser les zones de rupture dans les organes d'assemblage des panneaux en vérifiant la résistance suffisante des panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée fragile ;

- d'exploiter la source de ductilité des organes d'assemblage des ancrages et équerres, la justification de la capacité résistante étant menée suivant les principes de la norme NF EN 1995-1-1 au §8.2 en s'assurant que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage ; les organes de fixation de type broches, boulons et pointes lisses n'est pas admise ;

- de s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mises en œuvre bénéficient d'un Agrément Technique Européen et fassent l'objet d'un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 et démontrant d'un comportement cyclique qui satisfasse les critères fixés de la classe de ductilité L au §8.3(3)P de la norme NF EN 1998-1-1 ;

- de s'assurer que le dimensionnement des ancrages de panneaux sera réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de sur-résistance pour l'ancrage  $\gamma_{rd} = 1,3$

- Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux STORA ENSO CLT utilisés en plancher doivent être organisés afin d'observer les points suivants :

- l'intégrité de la structure lors d'un séisme,
- la fonction tirant-butoir horizontal. Le plancher doit présenter en tout point une capacité de résistance ultime à la traction de 75 KN/m. Cette vérification concerne les sections de panneaux ainsi que les liaisons longitudinales dont des exemples sont présentées dans les « dispositions constructives 5 » du Dossier Technique.

- 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 justification des panneaux utilisés en murs de contreventement en zone sismique doit être effectuée en :

- menant les vérifications précisées au §2 de l'Annexe 1 ;
- réalisant la fixation au support béton des panneaux au soubassement béton par des chevilles bénéficiant d'un Agrément Technique Européen pour une utilisation en béton fissuré ; limiter la capacité résistante en cisaillement de ces chevilles à la moitié de celles indiquée dans l'ATE sous sollicitation statique ; considérer un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.

## 2.217 Traitement de préservation

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du panneau STORA ENSO CLT 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.

Lorsqu'un traitement est nécessaire, il doit être réalisé en usine après façonnage des planches, de même qu'après le traitement des découpes réalisées sur les panneaux STORA ENSO CLT.

Conformément à la réglementation en vigueur, les panneaux STORA ENSO CLT 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.

## 2.218 Dispositions constructives générales

Lorsque les panneaux STORA ENSO CLT sont utilisés pour la réalisation de bâtiments entrant dans le domaine d'application du 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 du DTU 31.2 pour la conception, aux prescriptions des Eurocodes pour le calcul.

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du STORA ENSO CLT exposée au climat intérieur (entre le panneau STORA ENSO CLT et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de  $S_d$  (épaisseur de lame d'air équivalente) du pare-vapeur sera au minimum de 18m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90m le cas contraire.

## 2.22 Conditions de fabrication

La fabrication des panneaux STORA ENSO CLT 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 §5.21 du Dossier Technique. Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les planches d'une part et panneaux STORA ENSO CLT 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 planches de bois avant assemblage des plis est fixé à 12% ±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.

Dans le cadre d'une procédure de contrôle externe réalisée par l'organisme allemand « Forschungs und Materialprüfungsanstalt » (MPA) à Stuttgart permettant de vérifier la conformité des performances du panneau (valeur de résistance en cisaillement roulant notamment).

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

## 2.23 Conditions de mise en œuvre

### 2.231 Sollicitations perpendiculaires au fil

Bien que les panneaux STORA ENSO CLT 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.

### 2.232 Manutention et stabilité provisoire

Le protocole de montage devra préciser les modes de manutention et 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 livrés sur chantier

### 2.233 Plans d'exécution

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

## Conclusions

### Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté est appréciée favorablement.

### Validité

3 ans jusqu'au 31 octobre 2016

*Pour le Groupe Spécialisé n°3*  
*La Présidente*  
 R. LARQUETOUX

## 3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Sans remarques spécifiques.

*Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 3*  
 Anca CRONOPOL

# Annexe 1 à l'Avis Technique

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. Dimensionnement des planchers

### 1.1 Données

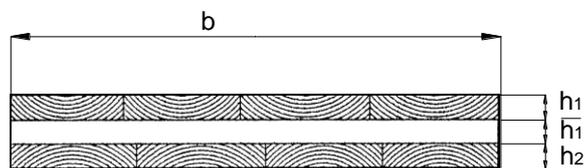


Figure 1 : Coupe transversale d'un panneau 3 plis.

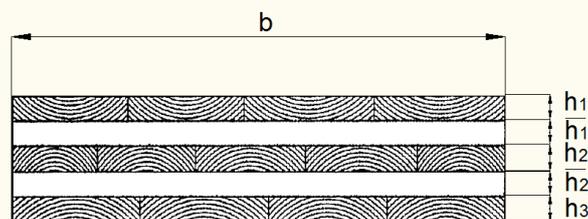


Figure 2 : Coupe transversale d'un panneau 5 plis.

Portée	L
Résistance caractéristique à la flexion	$f_{m,k}$
Résistance caractéristique à la traction	$f_{t,0,k}$
Résistance caractéristique au cisaillement roulant	$f_{R,k}$
Module d'élasticité moyen du bois	$E_{0,mean}$
Module de cisaillement moyen du bois	$G_{mean}$
Module de cisaillement roulant moyen du bois	$G_{R,mean}$

Coefficient de sécurité Bois	$\gamma_m$
Coefficient de modification	$k_{mod}$
Coefficient de déformation	$k_{def}$

Résistance de calcul à la flexion  $f_{m,0,d} = k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_{m,1}$   
 Résistance de calcul à la traction  $f_{t,0,d} = k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_{m,1}$   
 Résistance de calcul au cisaillement  $f_{R,d} = k_{mod} \times f_{R,k} / \gamma_{m,1}$

$M_u$  : moment de flexion de calcul maximum  
 $V_u$  : effort tranchant maximum de dimensionnement

### 1.2 Conception

Bien que les panneaux STORA ENSO CLT 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.

Lorsque les panneaux STORA ENSO CLT utilisés comme planchers porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. §6.2 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 pour le contreplaqué dans la norme NF EN 1995-1-1 et au §6.2 du Dossier Technique.

### 1.3 Vérifications à l'ELU instantané

Instantané – charges à court terme

Il convient que la rigidité efficace en flexion soit prise selon :

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b \cdot h_i$$

$$I_i = \frac{b \cdot h_i^3}{12}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[ 1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean_i} \cdot A_i \cdot \bar{h}_i}{L^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right]^{-1} \text{ pour } i = 1 \text{ et } i = 3$$

$$a_1 = \left( \frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - a_2$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 \cdot \left( \frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \left( \frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right)}{\sum_{i=1}^3 (\gamma_i \cdot A_i)}$$

$$a_3 = \left( \frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right) + a_2$$

Les contraintes normales sont prises selon

$$\sigma_{t,0,d}^i = \frac{\gamma_i \cdot a_i \cdot M_u}{I_{ef}}$$

$$\sigma_{m,0,d}^i = \frac{0,5 \cdot h_i \cdot M_u}{I_{ef}}$$

Vérification de la traction et flexion combinée des couches de bois

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

Vérification du cisaillement roulant

$$\tau_{v,d} = \frac{V_u \cdot \gamma_i \cdot S_i}{I_{ef} \cdot b} \leq f_{R,d}$$

Avec

Moment statique d'un pli au sein d'une section rectangulaire

$$S_i = b \cdot h_i \cdot x_i$$

b : largeur du panneau (mm)

hi : épaisseur du pli (mm)

xi : abscisse du barycentre du pli à l'axe de symétrie du panneau (mm)

Avec la valeur caractéristique de résistance au cisaillement roulant de 1.25 N/mm<sup>2</sup> (sapin) et 1.5 N/mm<sup>2</sup> (Pin) définie dans l'ATE 08/0271.

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. Les détails de jonctions entre panneaux sont indiqués dans les dispositions constructives 5 annexés au Dossier Technique.

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon les principes énoncés dans le §6.23 du Dossier Technique.

## 1.4 Vérifications 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  $\psi_2 \cdot k_{def}$  approprié, puis additionnées pour les vérifications.

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

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

avec  $G_{R,mean}$  le module de cisaillement roulant moyen défini dans l'ATE 08/0271 et pris égale à 50 MPa

Avec  $\psi_2 = 1$  pour les charges permanentes.

## 1.5 Vérifications ELS

### 1.5.1 Caractéristiques mécaniques Instantané (charge à court terme - instantanées)

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au §1.3.

### 1.5.2 Caractéristiques mécaniques Final (charge à long terme - permanentes)

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.

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

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

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

avec  $G_{mean}$  le module de cisaillement moyen du panneau STORA ENSO CLT pris égal à 60 MPa comme défini dans l'ATE 08/0271.

### 1.5.3 Vérifications de flèche

Les vérifications des flèches doivent être menées en considérant d'une part la flèche générée par le moment fléchissant en considérant la rigidité efficace du panneau STORA ENSO CLT et d'autre part la flèche générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du panneau STORA ENSO CLT.

### 1.5.4 Vérifications flèche totale – absolue

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 STORA ENSO CLT.

### 1.5.5 Vérifications flèche instantanée

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 STORA ENSO CLT.

### 1.5.6 Vérifications flèche active

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des éléments STORA ENSO CLT, 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  $\leq$  à 5,0m ; ou  $0,5 \text{ cm} + L/1000$  de la portée si celle-ci est supérieure à 5,0 m, sinon ;

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limité, par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- soit  $L/350$  de la portée si celle-ci est  $\leq$  3,50 m
- soit  $0,5 \text{ cm} + L/700$  de la portée si celle-ci est supérieure à 3,50 m
- Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux STORA ENSO CLT.

## 2. Dimensionnement des murs

### 2.1 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul de l'élançement du panneau STORA ENSO CLT est effectué en considérant d'une part la longueur de flambement calculée de manière usuelle en fonction des conditions d'appuis (considérées comme des articulations), d'autre part le rayon de giration dont le calcul est donné dans §6.31 du Dossier Technique. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, la charge verticale est considérée comme excentrée de  $1/6$  de l'épaisseur du panneau.

Lorsque les panneaux STORA ENSO CLT utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §6.2 du dossier technique).

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. Il convient de se reporter au §6.34 du Dossier Technique pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

### 2.2 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

• Lorsque des panneaux STORA ENSO CLT sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

- soit de les considérer comme une succession de panneaux isolés les uns des autres. Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastés en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m. Il est également nécessaire de s'assurer de la présence d'une lisse haute transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cette lisse et en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.

- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part.

• Lorsque des panneaux STORA ENSO CLT munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il doit être vérifié que la « membrure » supérieure du panneau est capable de transmettre l'effort horizontal en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.

• La capacité résistante au cisaillement des panneaux doit être justifiée lorsque ceux-ci sont soumis à des charges horizontales. La vérification consiste à s'assurer que les trois modes de ruptures potentiels ne sont pas atteints à l'ELU :

$$\tau_{1,d} = \frac{V_d}{b \cdot t} \leq f_{v,1,d} (N/mm^2) \text{ avec } f_{v,1,k} = 3,5N/mm^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{V_d}{b \cdot t_{\min}} \leq f_{v,2,d} (N/mm^2) \text{ avec } f_{v,2,k} = 8,0N/mm^2$$

$$\tau_{3,d} = \frac{V_d \cdot h \cdot a}{\sum I_p} \leq f_{v,3,d} (N/mm^2)$$

Avec  $f_{v,3,k} = 2,5N/mm^2$  (Sapin)

$$f_{v,3,k} = 3,5N/mm^2 \text{ (pin)}$$

$b$  la largeur du panneau (mm)

$t$  l'épaisseur du panneau (mm)

$V_d$  effort tranchant agissant sur le panneau (N)

$t_{\min}$  somme des épaisseurs de plis transversaux ou des plis longitudinaux, la plus petite des deux valeurs étant à retenir (mm)

$a$  largeur d'une planche (mm)

$I_p$  moment d'inertie polaire des sections croisées (mm<sup>4</sup>)

h hauteur du panneau perpendiculaire à l'effort agissant horizontal (mm)

Les ancrages, reprenant les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales, sont dimensionnés pour ne reprendre que ces efforts. L'effort tranchant à la base des éléments porteurs verticaux est alors équilibré par des connecteurs dédiés à cet usage et n'intervenant pas dans l'équilibrage des efforts de soulèvement.

---

### **3. Conception des assemblages**

---

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux STORA ENSO CLT entre eux ou des panneaux STORA ENSO CLT à

d'autres éléments de structure en matériaux bois doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592.

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent faire l'objet d'un Agrément Technique Européen.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés en regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et son amendement A1.

# Dossier Technique

## établi par le demandeur

## A. Description

### 1. Principe et domaine d'emploi proposé

Les panneaux structuraux Stora Enso CLT sont des panneaux bois multi plis de grandes dimensions. Chaque pli est constitué de planches en bois massif aboutées de même sens de fil et collées entre elles sur leur chant. Les plis sont empilés en couches croisées à 90° et collés entre eux sur toute leur surface. Les panneaux structuraux CLT Stora Enso sont destinés à la réalisation de planchers et de murs porteurs avec fonction de contreventement.

Les panneaux structuraux Stora Enso CLT sont destinés à la réalisation des ouvrages de structure cités ci-dessus pour des bâtiments à usage d'habitation, Etablissements Recevant du Public, bâtiments de bureaux ou industriels. Ils peuvent par ailleurs être utilisés pour la réalisation de travaux de rénovation et de surélévation.

Les panneaux structuraux Stora Enso CLT sont destinés à la réalisation d'ouvrages de structure en classes de service 1 et 2 au sens de l'EN 1995-1-1 et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

Les panneaux structuraux Stora Enso CLT peuvent être utilisés en zone sismique.

### 2. Identification et marquage

En sortie de chaîne de fabrication et après les contrôles exécutés, les panneaux sont étiquetés avec le marquage CE et les informations prévues par l'Agrément Technique Européen ETA-08/0271.

- 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 panneau (N° de position, épaisseur, nombre et direction des couches, qualité),
- Le lieu de fabrication.

### 3. Description des matériaux

#### 3.1 Planches en bois

##### 3.1.1 Types 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.

##### 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 3 - 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%.

##### 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 3 - Dimensions et structure de construction des panneaux en bois massif)

D'autres combinaisons sont également disponibles auprès du fabricant et notamment :

- 90% C35 – 10% C30
- 90% C40 – 10% C35

#### 3.2 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 dents de scie) sont de type 1 selon la NF EN 301, ce qui permet un usage structurel des panneaux en intérieur et en extérieur pour les classes de service 1 et 2 suivant la NF EN 1995-1-1.

##### 3.2.1 Colle pour l'aboutage des planches

La colle Purbond HB S079 de la société PURBOND est utilisée pour l'aboutage des planches unitaires longitudinales, réalisé par joints à entures multiples. Cette colle est formulée à base de résine polyuréthane.

##### 3.2.2 Colle pour l'assemblage des planches sur leurs chants

Le système de collage EPI 1921/1993 de la société Casco Adhesives est utilisé pour l'assemblage des planches sur leurs chants. Ce système d'encollage est de type résine/durcisseur.

##### 3.2.3 Colle pour l'assemblage des plis entre eux

### 4. La colle Purbond HB S109 de la société PURBOND est utilisée pour l'assemblage des plis entre eux. Cette colle est formulée à base de résine polyuréthane. Description des panneaux

#### 4.1 Géométries des panneaux CLT Stora Enso

Les panneaux CLT Stora Enso sont disponibles :

- en 3 largeurs standard : 2,45 m – 2,75 m – 2,95 m
- en longueur jusqu'à 16 m.

Les panneaux CLT Stora Enso sont constitués de plis faits avec des planches en bois massif aboutées en longueur et collées entre elles sur chant. Les plis sont ensuite empilés en couches principalement croisées à 90° et collés entre eux sur toute leur surface.

Les plis extérieurs des 2 faces opposées des panneaux sont orientés dans la même direction. Le nombre de plis est impair en standard mais des compositions spéciales restent possibles.

L'épaisseur des panneaux Stora Enso CLT dépend du nombre de plis et des combinaisons possibles entre les différentes épaisseurs de planches. L'épaisseur des panneaux standards varie de 60 mm à 320 mm.

Nombre de plis :  $3 \leq n \leq 20$

Nombre de plis consécutifs maximum possédant le même sens de fil c'est-à-dire orientés dans la même direction :

- 1 lorsque  $n = 3$
- $\leq 2$  lorsque  $n = 5$
- $\leq 3$  lorsque  $n > 5$

(Voir Figure 17 – Exemple de panneau CLT Stora Enso (5 couches) et Tableau 5 – Compositions standards des panneaux CLT Stora Enso)

On distingue deux catégories de panneaux selon l'orientation du fil des planches des plis extérieurs vis-à-vis de la grande longueur du panneau. Ils sont appelés panneaux de Type C (« Croisé ») et panneaux de Type L (« Longitudinal »).

Les plis extérieurs des Type « C » sont constitués de planches continues orientées transversalement par rapport à la grande longueur. Ils sont essentiellement destinés à une utilisation en murs.

Les plis extérieurs des Type « L » sont constitués de planches continues, orientées longitudinalement par rapport à la grande longueur.

Les panneaux CLT peuvent être réalisés en trois qualités de finition : surface non visible, surface industrielle visible, surface visible. Quel que soit la finition, les panneaux sont livrés avec une surface poncée.

#### 4.2 Caractéristiques physiques des panneaux Stora Enso CLT

• Masse volumique :

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  $500 \text{ kg/m}^3$ .

- Variation dimensionnelle dans le plan du panneau :  
0,02% pour 1% de variation d'humidité du bois.
- Variation dimensionnelle perpendiculaire au plan du panneau :  
0,24% pour 1% de variation d'humidité du bois.
- 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 :  
 $\mu = 20\text{-}50 \text{ g/m.h.mm Hg}$

## 5. Fabrication et contrôle

### 5.1 Fabrication des panneaux Stora Enso CLT

La fabrication des panneaux Stora Enso CLT est effectuée dans les usines de Bad St. Leonhard et de Ybbs en Autriche. Le processus de fabrication des panneaux Stora Enso CLT est le suivant :

#### Sélection du bois d'œuvre :

Vérification du taux d'humidité : 12%  $\pm$ 2%  
Classement mécanique visuel

#### Tri :

Tri en fonction de la classe mécanique, de l'orientation des planches (transversal ou longitudinal) et de la finition (face visible ou non).

#### Aboutage :

Les planches sont aboutées afin de constituer les plis des panneaux.

#### Rabotage :

Le rabotage 4 faces permet de calibrer la section des planches et d'améliorer le collage.

#### Encollage :

Les planches sont encollées sur leurs chants pour constituer les plis.

#### Coupe à longueur :

La coupe à longueur sert à donner la longueur des plis à empiler dans le plan longitudinal ou transversal.

#### Mise en couche des plis :

Les plis sont encollés puis empilés avant d'entrer sous une presse.

#### Pressage :

Les plis constituant le panneau CLT sont pressés les uns sur les autres dans une presse hydraulique. Une pression de 0.6 N/mm<sup>2</sup> est exercée pendant une durée de 25 minutes.

#### Ponçage :

Les deux faces des panneaux CLT sont poncées.

#### Découpe :

Les panneaux CLT sont découpés à la demande par une machine à commande numérique (longueur - réservations de portes et fenêtres - entailles...)

#### Marquage :

Les panneaux sont marqués conformément aux spécifications du §2 puis stockés en attendant leur expédition.

### 5.2 Contrôle de fabrication des panneaux Stora Enso CLT

Un contrôle interne de la fabrication est réalisé dans chaque usine par le fabricant. Un contrôle externe de la fabrication est réalisé par l'organisme notifié autrichien « Holzforschung Austria ».

#### 5.2.1 Contrôle interne

Le contrôle interne est assuré tout au long du processus de fabrication et porte sur les étapes suivantes:

##### Dimensions des planches et Classe mécanique :

L'essence, les dimensions (largeur et épaisseur) et la température de surface de chaque planche sont contrôlées. Les planches sont triées en fonction de leur classe de résistance mécanique.

##### Densité et Taux d'humidité des planches :

Après triage et coupe à longueur de chaque planche, la densité et le taux d'humidité sont mesurés.

##### Aboutages :

Le contrôle des aboutages est réalisé après inspection de l'encollage et vérification de la pression de collage.

##### Encollage des chants :

Après le rabotage des planches aboutées, un contrôle de ce dernier ainsi que les dimensions des planches est effectué ; l'encollage des chants est alors réalisé puis contrôlé.

##### Conditions de pressage :

Le contrôle des conditions de pressage consiste à s'assurer que les données concernant l'application de la colle, la composition des plis, la pression et le temps de pressage sont conformes au PAQ (Plan d'Assurance Qualité) et à les enregistrer.

##### Ponçage :

Les panneaux CLT sont ensuite poncés. Leur épaisseur est contrôlée avant et après l'opération. Les mesures relevées sont consignées dans un registre de suivi.

##### Usinages :

Le dernier contrôle avant le chargement est effectué en fin de ligne de production après que tous les usinages aient été réalisés. Un employé Stora Enso mesure avec précision et vérifie la qualité des finitions, les découpes et les différents usinages puis signe pour approbation sur l'étiquette de marquage du panneau.

##### Conditions atmosphériques de l'atelier de production :

Les conditions hygrothermiques dans l'atelier de production sont contrôlées à travers un enregistrement continu desdits paramètres.

L'ensemble des données recueillies sont consignées dans un registre que l'organisme chargé de réaliser le contrôle externe peut consulter. Ce registre précise notamment les informations suivantes :

- Date et numéro de production
- Essence et classe mécanique du bois
- Epaisseur des planches
- Dimensions de l'élément
- Heure de début de l'encollage
- Heure de début et de fin de pressage
- Niveau de pression
- Quantité de colle utilisée

Par ailleurs, Stora Enso effectue les séries d'essais suivantes en laboratoire pour vérifier les performances minimales requises par le PAQ :

- Résistance au Cisaillement roulant selon la norme EN 789  
(Fréquence des contrôles : 1 échantillon par cycle de production)
- Résistance au Cisaillement selon la norme EN 392  
(Fréquence des contrôles : 10 échantillons par jour)
- Résistance à la flexion des aboutages selon la norme EN 386  
(Fréquence des contrôles : 3 échantillons par cycle de production)
- Résistance du collage par délamination selon la norme EN 391  
(Fréquence des contrôles : 3 échantillons par cycle de production)

#### 5.2.2 Contrôle externe

Le contrôle externe est réalisé 2 fois par an pour chaque site de production par l'organisme notifié autrichien « Holzforschung Austria » sur la base d'un plan de contrôle et de surveillance déposé auprès de l'organisme certificateur « HolzCert ». Le contrôle porte sur la production, l'autocontrôle réalisé et sur des échantillons prélevés pour la réalisation d'essais au sein de leurs laboratoires.

Les contrôles externes réalisés par l'institut « Holzforschung Austria », un organisme indépendant et accrédité au niveau européen, répondent à trois missions principales. À un premier niveau, une visite des lieux de production permet de vérifier le système de contrôle interne (Internal production control) ainsi que l'assurance qualité qui ont été mis en place par le fabricant. Cette visite permet également de réaliser un examen détaillé du processus de production, depuis les matières premières jusqu'aux produits finis (panneaux découpés). On procède également à des prélèvements d'échantillons de lamelles aboutées, ainsi qu'à des prélèvements destinés à réaliser les tests de délamination et de cisaillement. Ces échantillons seront ensuite testés dans les laboratoires de l'organisme de contrôle.

Les résultats ainsi obtenus sont ensuite consignés dans le rapport de contrôle établi par la « Holzforschung Austria ». C'est sur la base de ce rapport qu'est par la suite délivré l'acte de certification.

## 6. Dimensionnement

### 6.1 Généralités sur le calcul du CLT Stora Enso

La société Stora Enso met à la disposition des acteurs de la construction une documentation technique dans laquelle figurent des abaques et des tableaux de pré dimensionnement ainsi qu'un logiciel de calcul de statique pour les structures en Stora Enso CLT.

Ces données sont utiles en phase d'avant-projet notamment mais ne dispensent pas de la réalisation d'un dimensionnement complet et précis des panneaux CLT dans l'ouvrage pour chaque projet par un bureau d'étude.

La conception, le calcul et la réalisation peuvent s'effectuer conformément à la norme NF EN 1995-1-1 et en tenant compte des dispositions énoncées ci-après.

Pour les calculs réalisés selon la norme NF EN 1995-1-1, il faut tenir compte des réglementations et dispositions nationales, annexe Nationale en particulier. Les revêtements supplémentaires appliqués sur l'un des côtés des panneaux uniquement — notamment des couches de planches additionnelles qui en résultent — ne doivent pas être pris en compte dans les calculs.

Pour déterminer la répartition des contraintes et des efforts internes, il est nécessaire de prendre en compte l'influence des déformations dues au cisaillement.

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

Le coefficient de sécurité partiel est pris égal à celui du bois massif soit,  $\gamma_M = 1.3$ . Le facteur modificatif  $K_{mod}$  à appliquer au CLT Stora Enso est celui du bois massif.

### 6.11 Valeurs de Résistance et Rigidité pour le calcul

Pour réaliser les calculs sur chaque couche, on utilise les valeurs de résistance et de rigidité caractéristiques et/ou moyennes des résineux de la classe de résistance correspondante, conformément à la NF EN 338 et en tenant compte du « tableau 3 - Dimensions et structure constitutive des panneaux CLT Stora Enso ».

En outre, les valeurs suivantes s'appliquent :

- Pour les sollicitations parallèles au plan du panneau CLT :

Grandeur		épicéa/sapin	pin
Contrainte caractéristique du cisaillement roulant	$f_{vR,k}$	1.25 N/mm <sup>2</sup>	1.5 N/mm <sup>2</sup>

- Pour les sollicitations perpendiculaires au plan du panneau CLT :

Grandeur		épicéa/sapin	pin
Module moyen de cisaillement roulant	$G_{R,mean}$	50 N/mm <sup>2</sup>	60 N/mm <sup>2</sup>

## 6.2 Dimensionnement des panneaux porteurs CLT Stora Enso horizontaux

Les panneaux CLT Stora Enso ont une capacité porteuse dans les deux directions perpendiculaires au plan du panneau, eu égard au mode de fabrication assurant un collage des planches dans toutes les directions.

Le module d'élasticité perpendiculaire au fil du bois doit être considéré comme nul,  $E_{90,mean} = 0$ . De fait les contraintes de flexion ne sont considérées que pour les couches dont les lames sont orientées dans la même direction que le fil du bois des couches considérées (voir figure 1 : définition des directions porteuses sous sollicitations perpendiculaires au panneau). Il n'est donc pas possible de superposer les contraintes de flexion des deux directions principales du panneau CLT.

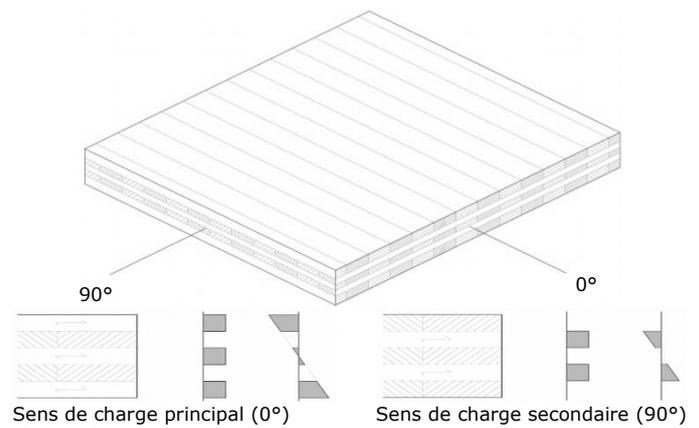
Pour le dimensionnement des dalles en CLT, il est possible de prendre comme modèle des éléments de 1m de large auxquels on applique la théorie des poutres.

Les éléments sont considérés comme appuyés simplement à leurs extrémités et sur les appuis intermédiaires. La longueur effective est la distance entre les milieux de deux appuis consécutifs.

### 6.2.1 Vérification de la résistance sous l'effet du moment fléchissant

Pour effectuer le calcul des valeurs caractéristiques de section des éléments conformément à la théorie des poutres composites, seules les planches orientées parallèlement à la direction des efforts doivent être prises en compte, comme illustré.

Les planches transversales fonctionnent comme des liaisons dont la raideur de glissement est prise en compte en généralisant la méthode des coefficients  $\gamma_i$  pour le Stora Enso CLT (NF EN 1995-1-1 Annexe B).



**Figure 1 : définition des directions porteuses sous sollicitations perpendiculaires au panneau**

Pour le calcul des contraintes de flexion sur les planches au sein d'un même pli, la valeur de calcul de la résistance à la flexion doit être multipliée par un facteur d'effet système  $k_1$  :

$$k_1 = \min \left\{ \frac{1 + 0.025 n}{1.1} \right.$$

Où « n » désigne le nombre de planches disposées côte à côte.

### 6.2.11 Panneaux CLT Stora Enso ayant au plus 5 plis

Les calculs pour les éléments ayant au plus cinq plis se feront en utilisant la théorie des poutres composites en flexion comme décrit dans la norme NF EN 1995-1-1 Annexe B.

Afin de prendre en considération les déformations liées au cisaillement entre les plis, on substituera en outre le facteur  $K_i/s_i$  de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 par le facteur  $(G_R \cdot b)/d_{i,i+1}$  suivant l'ETA 08-0271.

Le moment effectif d'inertie de surface s'obtient alors comme suit :

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad \text{Avec} \quad A_i = b_i \cdot d_i \quad \text{et} \quad I_i = \frac{b_i \cdot d_i^3}{12}$$

$$\gamma_1 = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot A_1 \cdot d_{1,2}}{G_R \cdot b \cdot l^2}\right)^{-1}; \quad \gamma_2 = 1; \quad \gamma_3 = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot A_3 \cdot d_{2,3}}{G_R \cdot b \cdot l^2}\right)^{-1}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{d_1}{2} + d_{1,2} + \frac{d_2}{2}\right) - \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \left(\frac{d_2}{2} + d_{2,3} + \frac{d_3}{2}\right)}{\sum_{i=1}^3 (\gamma_i \cdot A_i)}$$

$$a_1 = \left(\frac{d_1}{2} + d_{1,2} + \frac{d_2}{2}\right) - a_2 \quad a_3 = \left(\frac{d_2}{2} + d_{2,3} + \frac{d_3}{2}\right) + a_2$$

On effectuera la vérification en déterminant les contraintes de flexion de surface des planches. La contrainte de flexion à l'axe médian des planches n'est pas prise en compte d'où :

$$\sigma_{m,r,i,d} = \pm \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \left(\gamma_i \cdot a_i + \frac{d_i}{2}\right) \leq f_{m,d}$$

avec :

- $d_i$  : épaisseur de la couche i parallèle au sens de portée du panneau [mm]
- $d_{i,j}$  : épaisseur de la couche perpendiculaire au sens de portée du panneau située entre les couches longitudinales i et j [mm]
- $b$  : largeur de l'élément [mm]
- $n$  : nombres de couches (plis)
- $l$  : distance entre les appuis [mm]
- $I_{ef}$  : inertie effective à la flexion [N/mm<sup>2</sup>]
- $G_R$  : module de cisaillement roulant [N/mm<sup>2</sup>]
- $E_0$  : module d'élasticité moyen des plis parallèle au sens de portée du panneau [N/mm<sup>2</sup>]
- $a_i$  : distance du plan médian du pli i à l'axe neutre de la section

### 6.2.12 Cas général des panneaux Stora Enso CLT avec m plis

Il est possible de généraliser la méthode précédente et de déterminer les  $\gamma_i$  pour toute composition symétrique de panneau CLT Stora Enso.

Les coefficients  $\gamma_i$  pour le CLT Stora Enso avec m plis travaillants s'obtiennent en résolvant l'équation matricielle (m X m) suivante :

$$\begin{pmatrix} V_{1,1} & V_{1,2} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ V_{2,1} & V_{2,2} & V_{2,3} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & V_{3,2} & V_{3,3} & V_{3,4} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & V_{4,3} & V_{4,4} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & V_{m,m-1} & V_{m,m} \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \vdots \\ \gamma_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ \vdots \\ S_m \end{bmatrix}$$

Où :

Le facteur  $(G_R \cdot b)/d_{i,i+1}$  précédent traduisant la raideur du pli perpendiculaire selon son épaisseur s'écrit de façon générale comme :

$$C_{j,k} = \frac{G_{R,jk} \cdot b}{d_{j,k}}$$

Le coefficient  $D_i$  traduisant une raideur du pli longitudinal travaillant i en relation avec la portée de référence s'écrit de manière générale comme :

$$D_i = \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot b \cdot d_i}{l_{ref}^2}$$

La raideur équivalente du pli i tenant compte des glissements entre les plis travaillants s'écrit de manière générale comme :

$$S_i = -C_{i,i+1} \cdot (a_{i+1} - a_i) + C_{i-1,i} \cdot (a_i - a_{i-1})$$

Et :

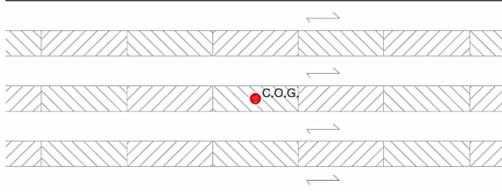
$$\begin{aligned} V_{1,1} &= (C_{1,2} + D_1) \cdot a_1 \quad \dots \\ V_{j,j} &= (C_{j-1,j} + C_{j,j+1} + D_j) \cdot a_j \dots \\ V_{m,m} &= (C_{m-1,m} + D_m) \cdot a_m \quad \dots \\ V_{j,j+1} &= -C_{j,j+1} \cdot a_{j+1} \quad \dots \\ V_{j+1,j} &= -C_{j,j+1} \cdot a_j \quad \dots \end{aligned}$$

avec :

- jk pli croisé situé entre les plis longitudinaux j et k
- $d_{j,k}$  épaisseur du pli croisé situé entre les plis longitudinaux j et k
- $d_i$  épaisseur du pli longitudinal i
- $a_i$  distance entre l'axe médian d'un pli longitudinal i travaillant au centre de gravité de la section du panneau
- $D_i$  coefficient de rigidité caractérisant le pli travaillant i
- $S_i$  rigidité équivalente du pli i tenant compte des glissements entre les plis travaillants
- $l_{ref}$  portée de référence (distance entre appuis)
- $G_{R,jk}$  module de cisaillement roulant en  $[N/mm^2]$  du pli croisé jk entre les plis longitudinaux j et k

Dans le cas d'une application du CLT Stora Enso 7 plis 180 L7s avec 4 plis longitudinaux travaillants, cela donne spécifiquement :

Layer	t
1	30 mm
2	20 mm
3	30 mm
4	20 mm
5	30 mm
6	20 mm
7	30 mm



$$\begin{pmatrix} (C_{1,2}+D_1) \cdot a_1 & -C_{1,2} \cdot a_2 & 0 & 0 \\ -C_{1,2} \cdot a_1 & (C_{1,2}+C_{2,3}+D_2) \cdot a_2 & -C_{2,3} \cdot a_3 & 0 \\ 0 & -C_{2,3} \cdot a_2 & (C_{2,3}+C_{3,4}+D_3) \cdot a_3 & -C_{3,4} \cdot a_4 \\ 0 & 0 & -C_{3,4} \cdot a_3 & (C_{3,4}+D_4) \cdot a_4 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{1,2} \cdot (a_2 - a_1) \\ -C_{2,3} \cdot (a_3 - a_2) + C_{1,2} \cdot (a_2 - a_1) \\ -C_{3,4} \cdot (a_4 - a_3) + C_{2,3} \cdot (a_3 - a_2) \\ C_{3,4} \cdot (a_4 - a_3) \end{bmatrix}$$

La résolution de l'équation matricielle ci-dessus permet d'obtenir la valeur  $\gamma$  recherchée.

On effectuera la vérification des contraintes en flexion de surface des planches en utilisant la même formule que précédemment et rappelée ci-après pour les panneaux CLT Stora Enso :

$$\sigma_{m,r,i,d} = \pm \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \left( \gamma_i \cdot a_i + \frac{d_i}{2} \right) = \frac{M_d}{W_i} \leq f_{m,d}$$

Où :

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} ;$$

$$W_i = \frac{I_{ef}}{\left( \gamma_i \cdot a_i + \frac{d_i}{2} \right)} ; \quad I_{ef} = \sum_{i=1}^n (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

## 6.22 Vérification de la résistance sous l'effet de l'effort tranchant

On vérifiera la capacité au cisaillement en déterminant les contraintes de cisaillement qui s'exercent dans le plan décisif de la section considérée où le cisaillement est maximum, les contraintes normales étant alors nulles.

De manière sécuritaire, on vérifiera uniquement le cisaillement roulant, plus défavorable que le cisaillement longitudinal.

Enfin, la valeur  $k_{cr}$  sera prise à 1.

On vérifie donc que :

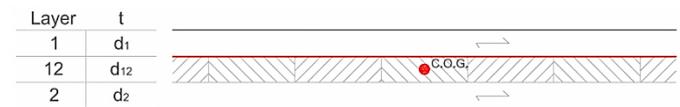
$$\tau_{v,d} = \frac{V_d \cdot \gamma_i \cdot S_{net}}{I_{ef} \cdot b} \leq f_{v,R,d}$$

avec :

- $\tau_{v,d}$  : valeur de calcul de la contrainte de cisaillement
- $V_d$  : valeur de calcul d'effort tranchant
- $\gamma_i$  : facteur de déformation élastique de cisaillement pour la couche i
- $S_{net}$  : moment statique d'aire selon l'axe principal
- $I_{ef}$  : moment d'inertie effective de surface de la section entière
- $b$  : largeur

Moment statique des panneaux à trois plis pour le calcul des efforts de cisaillement maximaux sur la section :

Dans un panneau à trois plis, les efforts de cisaillement maximaux s'exercent au centre de la section. Étant donné que le centre de la section (centre de gravité général) se situe au niveau de la couche transversale et que les efforts de cisaillement qui s'exercent dans la couche transversale sont constants, l'effort de cisaillement sera calculé au niveau du joint collé qui est le plus proche du centre de gravité général (entre les plis 1 et 12). Ceci permet d'obtenir le moment statique d'un panneau à trois plis. Cf. ci-dessous :



$$\begin{aligned} S_i &= \sum_i^{mL} A_i \cdot a_i = (d_i \cdot b_i) \cdot \left( \frac{d_i}{2} + \frac{d_{ij}}{2} \right) = \\ &= (d_i \cdot b_i) \cdot \left( \frac{d_i}{2} + \frac{d_{12}}{2} \right) \end{aligned}$$

avec :

- $i$  : index des couches longitudinales
- $mL$  : index de la couche longitudinale où se situe le centre de gravité, ou bien de celle qui est la plus proche du centre de gravité
- $A_i$  : surface de section partielle de la couche longitudinale i située au-dessus du joint collé de limitation dans laquelle on veut déterminer l'effort de cisaillement
- $a_i$  : écartement entre le centre de gravité de la surface i et le centre de l'effort tranchant
- $d_i$  : épaisseur de la surface de section partielle de la couche longitudinale i située au-dessus du joint collé de limitation dans laquelle on veut déterminer l'effort de cisaillement

- $b_i$  : largeur de la surface de section partielle de la couche longitudinale  $i$  située au-dessus du joint collé de limitation dans laquelle on veut déterminer l'effort de cisaillement
- $d_{ij}$  : épaisseur de la surface de section partielle de la couche transversale  $ij$  (entre les couches longitudinales  $i$  et  $j$ ) située au-dessus du joint collé de limitation dans laquelle on veut déterminer l'effort de cisaillement

Moment statique des panneaux à cinq plis pour le calcul des efforts de cisaillement maximaux sur la section :

Dans un panneau à cinq plis, les efforts de cisaillement maximaux s'exercent au centre de la section. Étant donné que le centre de la section (centre de gravité général) se situe au niveau du pli transversal, l'effort de cisaillement est calculé au niveau du centre de gravité. Ceci permet d'obtenir le moment statique d'un panneau à cinq plis. Cf. ci-dessous :

Layer	t
1	$d_1$
12	$d_{12}$
2	$d_2$
23	$d_{23}$
3	$d_3$

$$S_i = \sum_i^{mL} A_i \cdot a_i =$$

$$= (d_i \cdot b_i) \cdot \left( \frac{d_i}{2} + d_{ij} + \frac{d_j}{2} \right) + \left( \frac{d_j}{2} \cdot b_j \right) \cdot \left( \frac{d_j}{4} \right) =$$

$$= (d_1 \cdot b_1) \cdot \left( \frac{d_1}{2} + d_{12} + \frac{d_2}{2} \right) + \left( \frac{d_2}{2} \cdot b_2 \right) \cdot \left( \frac{d_2}{4} \right)$$

Pour les panneaux de 7 plis ou plus, le calcul du moment statique maximum s'effectue de manière similaire.

### 6.23 Vérification de la compression perpendiculaire au plan des panneaux

Il convient d'effectuer les vérifications selon la NF EN 1995-1-1, son amendement A1 et son annexe nationale AN1 :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{eff}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$\text{avec : } f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

Les surfaces de contact  $A_{eff}$  sont considérées pleinement en supposant une répartition et une distribution uniforme des contraintes. La rotation des appuis n'est pas prise en compte.

Pour les appuis continus dans le sens perpendiculaire à la portée, on considère un élément de plancher de 1 m de large et la longueur efficace de contact  $l_{eff}$  est augmentée de 30 mm sur chaque face (soit 60 mm pour des appuis intermédiaires) sans dépasser la valeur  $a$ ,  $l$ , ou  $l/2$ , selon la norme NF EN 1995-1-1.

La longueur d'appui  $l_{eff}$  diffère suivant l'orientation des plis des murs servant de supports et suivant l'orientation des plis des planchers. Si les planchers sont en appui linéairement sur des murs CLT Stora Enso, la surface de contact  $l_{eff}$  est donnée par les plis orientés verticalement et incluant le ou les plis transversaux présents entre ces plis verticaux. Ce choix est applicable en considérant l'effet de recouvrement des cônes de compression appliqués pour les plis travaillants et sous réserve que l'épaisseur des plis soit conforme au présent avis.

$$l_{eff} = l + 30$$

$$l_{eff} = l + 30$$

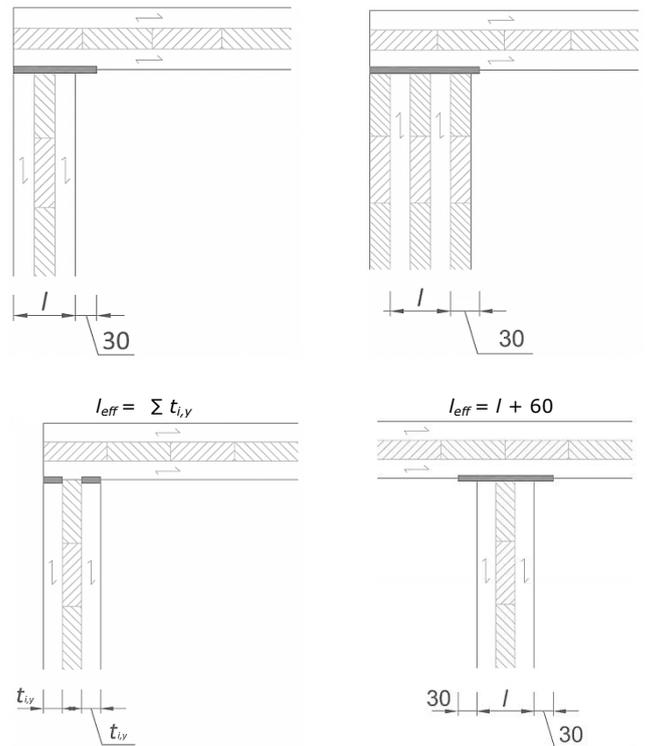


Figure 2 : largeur d'appui efficace

Pour les appuis de plancher CLT Stora Enso sur des supports tels que murs ou poutres en acier, béton ou en bois massif, on applique la même méthode que celle décrite précédemment en fonction de l'orientation du plancher sur l'appui considéré.

Selon la répartition des efforts, la NF EN 1995-1-1 prévoit que la valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire  $f_{c,90,d}$  soit majorée par le coefficient  $k_{c,90}$ .

Pour les appuis discrets,  $k_{c,90} = 1.5$  pour  $l_1 \geq 2h$  et  $l \leq 400$  mm

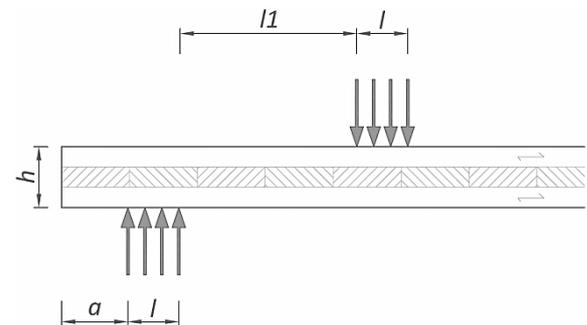


Figure 3 : appuis discontinus de plancher Stora Enso CLT

Pour les autres cas, on prend  $k_{c,90} = 1$ .

### 6.24 Vérification des déformations

Les flèches sont calculées en utilisant l'inertie effective des panneaux-CLT Stora Enso. Le glissement lié à l'influence de l'effort tranchant est ainsi pris en compte.

La déformation due au fluage est prise en compte en appliquant à la part des charges de longue durée le coefficient  $(1 + k_{def})$  adéquat tel que prévu par la NF EN 1995-1-1 en fonction de la classe de service retenue. Les valeurs pour le bois massif s'appliquent.

L'expression de la flèche finale  $u_{fin}$  de l'eurocode 5 est calculée comme suit :

$$u_{fin} = u_{G,inst} + u_{diff} + u_{Q,inst}$$

$$u_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot u_{G,inst} + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot u_{Q,inst}$$

avec :

$$u_{diff} = (u_{G,inst} + \psi_2 \cdot u_{Q,inst}) \cdot (k_{def})$$

Exemple de formule :

Calcul de la flèche pour une poutre appuyée simplement à ses extrémités et soumise à une charge permanente répartie linéaire :

$$u_{G,inst} = \frac{5 \cdot g \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{eff}}$$

avec :

$g$  : charge permanente répartie linéaire [kN/ml]

$L$  : portée [m]

$E$  : module d'élasticité [kN/m<sup>2</sup>]

$I_{eff}$  : moment de l'inertie effective [m<sup>4</sup>]

Les valeurs des déformations admissibles pour les structures en bois sont données par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale. Néanmoins, Lorsque les panneaux CLT interagissent avec d'autres parties d'ouvrage (cloisons, plafonds...), il convient que les valeurs des déformations calculées pour les panneaux CLT soient compatibles avec les déformations admissibles des parties d'ouvrage associées.

## 6.25 Vérification des planchers avec trémies

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 ingénieur structure incluant les calculs relatifs aux états limites ultimes (E.L.U.) et aux états limites de service (E.L.S.).

Dans les deux sous-chapitres qui suivent, deux méthodes permettant d'effectuer les calculs relatifs à ces trémies de plancher sont exposées. Dans ces deux méthodes, les bords de la trémie peuvent être soumis à des actions ou non. L'origine de ces actions est diverse : escalier par exemple ou autres.

### 6.251 Les modélisations en treillis de poutres

Le plancher est décomposé en une structure tramée par des barres (voir figure 4 : Modélisation simple en treillis de poutres). Le modèle en « treillis de poutres » ne fonctionne que si la largeur  $b$  de chaque barre est comprise entre 40cm et 80cm (voir figure 4 : Modélisation simple en treillis de poutres).

Les treillis de poutres doivent être conçus de manière à ce que la distance entre les barres délimitant la périphérie de la trémie et les barres adjacentes soit égale à  $b/2$  (voir figure 5 : Modélisation en treillis de poutres avec trémie et bord soumis à une action)

Dans les modélisations en treillis de poutres, la rigidité à la torsion des panneaux CLT, dont l'impact sur les déformations verticales est relativement faible, est négligée. Ce choix positionne le calcul des déformations verticales du côté sécuritaire. De plus, aucune force ayant pour effet de relever le panneau au niveau des points d'appuis et des coins n'est à considérer.

Les déformations liées au cisaillement sont déterminées par les moments d'inertie effectifs obtenus au moyen de la méthode gamma. Pour déterminer les longueurs de référence, on procède de façon similaire à la méthode exposée pour la modélisation des poutres.

Pour les poutres orientées dans la direction principale (direction parallèle à la direction du fil des planches de surface) les valeurs de  $E_{m,mean}^*$  et  $G_{mean}^*$  à prendre en compte pour le calcul de dimensionnement sont données dans le tableau 8 : valeurs des résistances caractéristiques des panneaux CLT Stora Enso.

Pour les poutres orientées dans le second plan (direction perpendiculaire à la direction du fil des planches de surface) les valeurs de  $E_{m,90,mean}^*$  et  $G_{90,mean}^*$  à prendre en compte pour le calcul de dimensionnement sont données dans le tableau 9 : valeurs des résistances caractéristiques des panneaux CLT Stora Enso.

Les dimensions de la section des poutres quelle que soit la direction du fil considérée (0° et 90°) doit être :

En largeur ( $b$  selon la figure suivante) : comprise entre 40cm et 80 cm),

En épaisseur : l'épaisseur du panneau CLT.

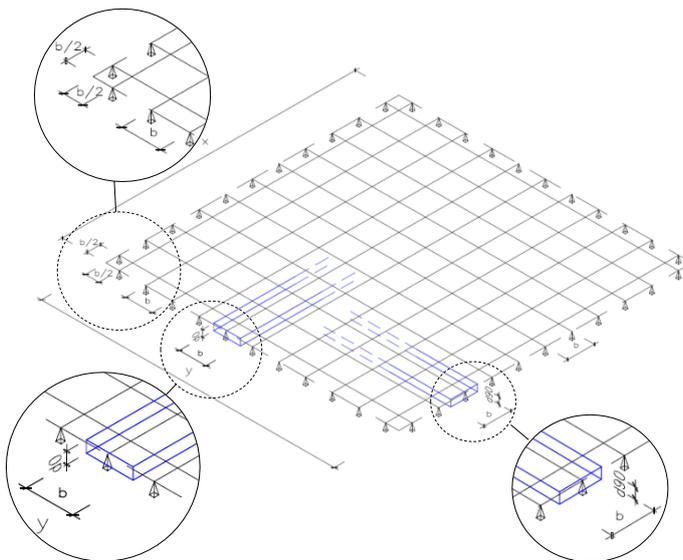


Figure 4 : Modélisation simple en treillis de poutres (sans ouverture)

La modélisation en treillis de poutres doit présenter une géométrie semblable à celle de la Figure 4 : Modélisation simple en treillis de poutres. Les dimensions peuvent varier ainsi que la forme des bords périphériques. Le dessin ci-dessus montre un panneau rectangulaire. Il peut toutefois suivre toutes sortes de formes ; il peut par exemple être de forme circulaire.

Lorsqu'une dalle de plancher comporte des trémies, il est nécessaire de les délimiter selon leurs dimensions  $O_x$  et  $O_y$  par des poutres dont les extrémités sont en porte-à-faux, la longueur de la partie en porte-à-faux étant équivalente à  $b/2$ . Des actions ( $F$ ) peuvent également s'exercer sur tout ou partie du périmètre de la trémie (zone d'appui d'un escalier par exemple). Cf. Figure 5 ci-dessous.

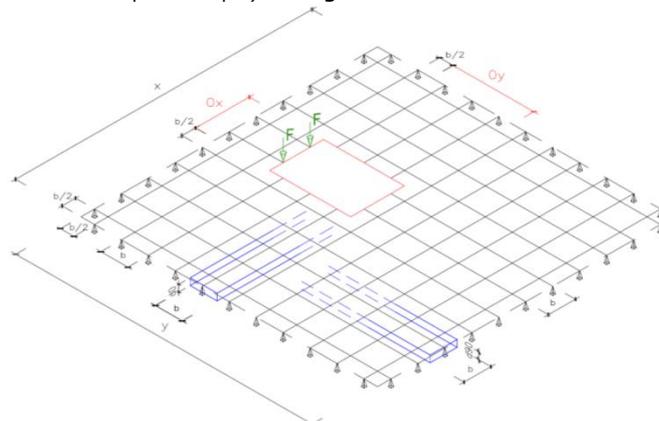
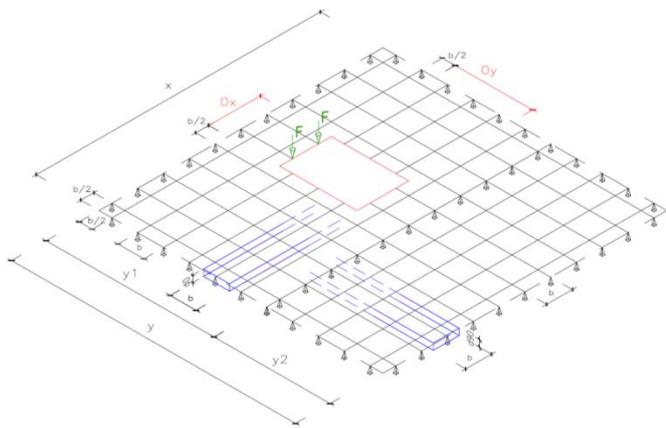


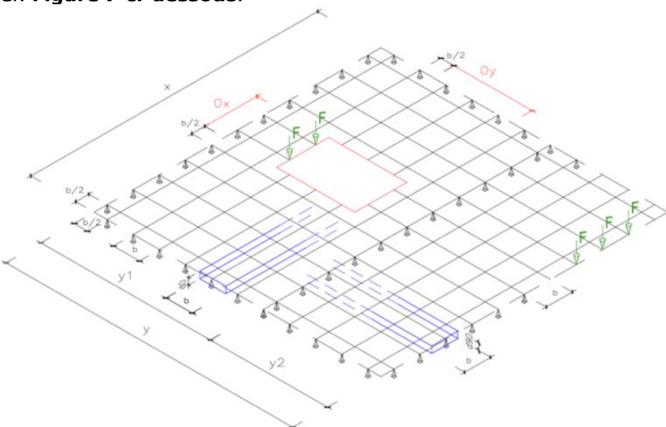
Figure 5 : Modélisation en treillis de poutres avec trémie et bord soumis à une action (charge d'une volée d'escalier par exemple)

Cette méthode permet aussi de modéliser des dalles de plancher sur appuis multiples — cf. Figure 6 ci-dessous. Le rapport entre  $Y1$  et  $Y2$  peut varier librement. Ceci s'applique également aux appuis multiples suivant l'axe X. Les dalles de plancher ne se limitent cependant pas uniquement à deux travées ; elles peuvent aussi s'étendre sur plusieurs travées. Il est également possible, dans la même modélisation, d'avoir des appuis intermédiaires sur les axes X et Y.



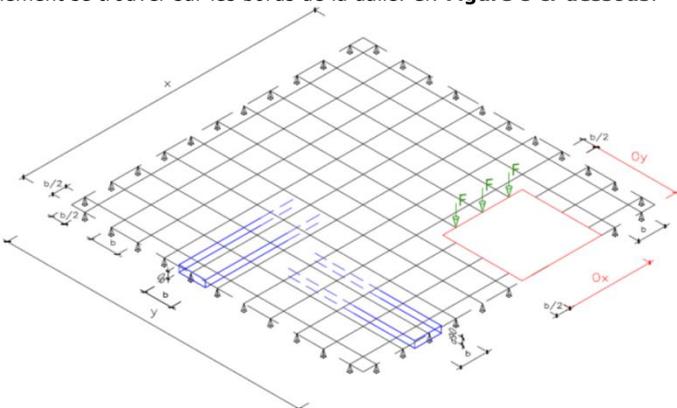
**Figure 6 : Modélisation en treillis de poutres sur appuis multiples avec trémie et bord soumis à une action (charge d'une volée d'escalier par exemple)**

Le panneau CLT peut aussi être modélisé avec une zone en porte-à-faux afin de prendre en compte la présence de balcons par exemple. Cf. **Figure 7 ci-dessous**.



**Figure 7 : Modélisation en treillis de poutres sur appuis multiples avec trémie, bord soumis à une charge (charge d'une volée d'escalier par exemple) et zone en porte-à-faux avec charge sur le bord extérieur**

Le positionnement de la trémie n'est pas uniquement limité au milieu de la travée. Les ouvertures dans une dalle de plancher peuvent également se trouver sur les bords de la dalle. Cf. **Figure 8 ci-dessous**.



**Figure 8 : Modélisation en treillis de poutres avec trémie située en périphérie de la dalle de plancher, le bord de la trémie étant soumis à une charge (charge d'une volée d'escalier par exemple)**

Dans le cas de la modélisation en treillis de poutres, chaque intersection de barres est rigide. Pour ce type de modélisation, il est nécessaire de tenir compte des efforts de cisaillement présents entre deux panneaux CLT juxtaposés. Par contre, les moments autour de l'axe parallèle à la jonction entre deux panneaux CLT ne sont pas pris en compte. Aussi, pour tenir compte de la rigidité à la torsion du panneau, il est nécessaire de considérer les appuis se trouvant en périphérie du panneau CLT comme étant rigides en torsion.

Pour déterminer les efforts tranchants et les déformations exercées dans ce modèle en treillis de poutres, on pourra utiliser tout type de logiciel 2D permettant de modéliser des structures porteuses en barres.

## 6.252 Modélisation avec des éléments finis

Autre méthode de calcul : la modélisation réalisée au moyen d'un logiciel d'éléments finis. Cette méthode peut alors permettre d'intégrer tout type de charge et de géométrie. Pour calculer les efforts tranchants, on pourra utiliser tout type de logiciel permettant le calcul aux éléments finis. Néanmoins, pour vérifier le coefficient de sécurité et l'aptitude à l'emploi, il est recommandé de recourir à un logiciel permettant de calculer les contraintes exercées dans les matériaux composites (comme pour les panneaux CLT par exemple).

## 6.3 Dimensionnement des panneaux porteurs verticaux Stora Enso CLT

### 6.31 Reprise des charges perpendiculaires à la surface du panneau

Pour les actions dues au vent, l'étude est similaire à celle d'un élément de plancher soumis à la flexion plane.

### 6.32 Reprise des charges verticales parallèles à la surface du panneau

Les contraintes normales induites par l'effet des actions verticales agissant dans le plan du panneau sont calculées en négligeant des plis orientés perpendiculairement à ces actions. On ne considère donc que les seuls plis dont le sens du fil est parallèle à la résultante des efforts dus aux actions verticales exercées. Ces plis travaillent en compression axiale ou plus rarement en traction axiale.

On calcule alors la contrainte de compression (ou de traction) en utilisant la section nette et en utilisant l'inertie effective des panneaux ( $A_{net}$  et  $I_{eff}$ ) dont les valeurs sont données dans le tableau 7 : **Caractéristiques géométriques des panneaux CLT Stora Enso** figurant dans le Dossier Technique et dans la documentation CLT Stora Enso.

On utilise les valeurs de résistance et de rigidité caractéristiques et/ou moyennes des résineux de la classe de résistance correspondante, conformément à NF EN 338 et en tenant compte du **Tableau 6 : propriétés mécaniques des panneaux CLT Stora Enso** figurant dans le Dossier Technique.

### 6.321 Combinaison de compression et flexion

Le calcul des efforts de compression et de flexion combinés doit être mené selon le §6.3.2 de NF EN 1995-1-1 Poteaux sollicités soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion en prenant  $\beta_c = 0,1$ . Pour les murs avec risque de flambement, on vérifie :

$$\left| \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \right| \leq 1$$

Si la vérification de la stabilité est nécessaire, on se sert du rayon de giration efficace  $i_{eff}$  qui prend en compte la déformation par glissement entre les plis.

$$i_{eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_{net}}}$$

Si les rapport d'élanement  $\lambda_{rel,z}$  et  $\lambda_{rel,x}$  sont inférieurs à 0,3, il n'y a pas de risque de flambement. On vérifiera alors :

$$\left| \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right|^2 + \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \right| \leq 1$$

### 6.322 Compression ou traction simple : charges linéiques

Pour les murs non sollicités par des actions horizontale perpendiculaire au plan (mur intérieur par exemple), la justification consiste à vérifier que les valeurs de compression avec ou sans risque de flambement et/ou au besoin les valeurs de traction, restent admissibles :

Compression

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,x} \text{ ou } y \cdot k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{avec risque de flambement}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,x} \text{ ou } y \cdot k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{sans risque de flambement}$$

$$\text{avec : } f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \quad \text{pour la compression}$$

Traction

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_{net,x \text{ ou } y}} \leq f_{t,0,d}$$

avec :  $f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$  pour la traction

**6.321 Charges verticales ponctuelles**

Les contraintes de compression engendrées par des appuis ponctuels, poutres ou poteaux en appui sur le mur par l'intermédiaire de connecteurs ou de sabots etc. sont reprises uniquement par les plis orientés verticalement et ce sans considérer de répartition de contraintes.

**6.33 Reprise de charges horizontales dans le plan du panneau : Contreventement**

La stabilité des panneaux CLT Stora Enso comportant ou non des ouvertures et utilisés pour assurer le contreventement (poussées horizontales dans le plan du panneau) doit être justifiée ainsi que la résistance de leurs ancrages. On les considère pour cela comme une succession de consoles isolées les unes des autres, libres en tête et ancrées en pied. Ceci n'est valable qu'à la condition que les panneaux soient fixés mécaniquement en pied et présentent une largeur de contreventement supérieure à 0,60 m.

Lorsqu'on utilise des panneaux CLT Stora Enso comportant des ouvertures et pour assurer le contreventement, il convient de vérifier que les linteaux supérieurs surplombant les ouvertures soient aptes à transmettre les efforts horizontaux en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de ces efforts.

La capacité résistante au cisaillement des panneaux doit être justifiée lorsque ceux-ci sont soumis à des poussées horizontales dans leur plan. La vérification consiste à s'assurer qu'aucun des trois modes de rupture possibles n'est atteint à l'E.L.U. (cisaillement du panneau entier ; cisaillement au croisement des planches collées entre plis ; cisaillement des joints entre les planches).

Pour les panneaux Stora Enso CLT cela conduit à :

$$\tau_{1,d} = \frac{V_d}{b \cdot D} = \frac{V_d}{A_{Full}} \leq f_{v,1,d} \text{ avec } f_{v,1,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{2,d} = \frac{V_d}{b \cdot D_{min}} \leq f_{v,2,d} \text{ avec } f_{v,2,k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{3,d} = \frac{V_d \cdot h}{\sum I_p} \cdot \frac{a}{2} \leq f_{v,3,d} \text{ avec } f_{v,3,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (Epicéa)}$$

$$f_{v,3,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Pin)}$$

avec :

- $V_d$  : effort tranchant agissant sur le panneau (N)
- $h$  : la hauteur du panneau normale à l'effort de sollicitant horizontal (mm)
- $b$  : la largeur du panneau (mm)
- $D$  : l'épaisseur du panneau (mm)
- $a$  : longueur du plus grand côté des surfaces de croisement des planches, en général la largeur d'une planche (mm)
- $I_p$  : moment d'inertie polaire d'une surface de croisement (mm<sup>4</sup>)
- $\sum I_p$  : somme des moments d'inertie polaire de l'ensemble des surfaces de croisement d'un panneau
- $D_{min}$  : minimum entre d'une part, la somme des épaisseurs de plis transversaux et d'autre part, celle des plis longitudinaux.

Les ancrages qui reprennent les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales sont conçus pour ne reprendre que ces efforts (modèle de rotation rigide suivant NF EN 1995-1-1 Méthode A).

L'effort tranchant à la base des éléments porteurs verticaux est alors équilibré par des connecteurs dédiés à cet usage et qui eux n'interviennent pas pour l'équilibrage des efforts de soulèvement.

Le recours à une modélisation aux éléments finis est possible (Dito **6.252 Modélisation avec des éléments finis**).

**Traction et compression**

La portance et la déformation liées à une compression exercée dans le plan des éléments de construction peuvent être calculées sur la base de la norme EN 1995-1-1 en considérant les valeurs de résistance mécanique et de rigidité telles qu'indiquées au point 6.1.

**6.34 Murs avec ouvertures : conception des linteaux**

Pour les linteaux en appui aux extrémités, la « longueur des appuis » est calculée à partir de la pression exercée perpendiculairement aux fibres du bois.

Pour les linteaux en CLT Stora Enso qui sont obtenus par découpe de l'ouverture se trouvant en dessous, la réaction d'appui et le moment d'encastrement du linteau doivent être transmis à la paroi par l'intermédiaire de la surface de collage.

La réaction d'appui génère des contraintes de cisaillement verticales. Quant au moment de flexion, il génère des contraintes de cisaillement en torsion. Pour déterminer la contrainte de cisaillement totale, on utilisera l'équation ci-après où n représente le nombre de plans de collage, Q l'effort tranchant, M le moment et A<sub>Q</sub> la surface cisailée :

$$\tau_{v,d} = \left( \frac{1,5 \cdot Q}{A_Q} + \frac{M}{W_P} \right) \cdot \frac{1}{n}$$

avec :

$W_P$  : inertie polaire du plan de collage

$$(W_P = \frac{l_{A,eff} \cdot h^2 + h \cdot l_{A,eff}^2}{6})$$

$n$  : nombre de plans de collage

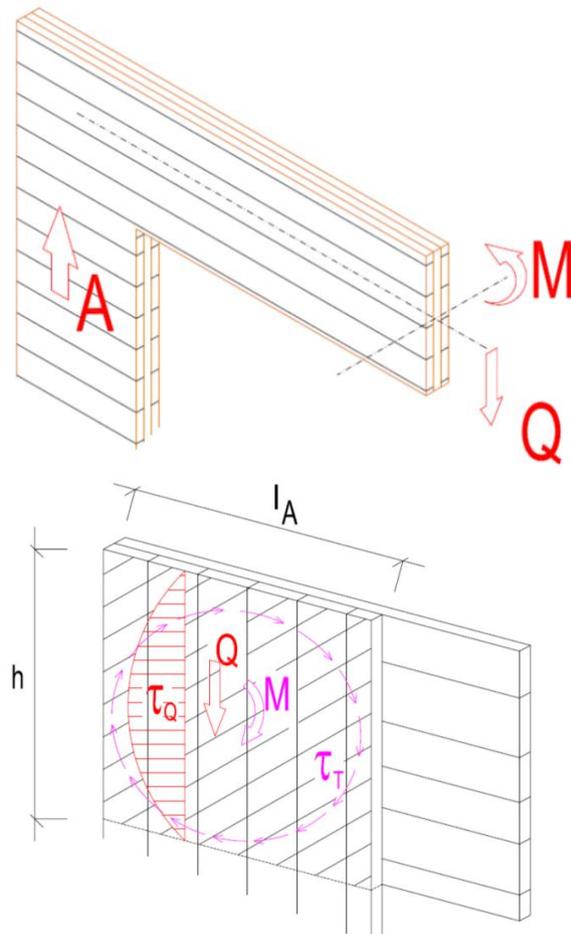
Il convient alors de vérifier que :

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

En particulier, en recherchant la dimension minimale d'une zone requise pour obtenir une surface de cisaillement compatible, il convient de transformer l'inégalité ci-avant en égalité afin d'obtenir après résolution la grandeur  $l_{A,eff}$  recherchée :

$$\tau_{v,d} = \frac{1,5 \cdot Q}{n \cdot h \cdot l_{A,eff}} + \frac{M}{n \cdot \frac{l_{A,eff} \cdot h^2 + h \cdot l_{A,eff}^2}{6}} = f_{v,d}$$

$$l_{A,eff} = \frac{\sqrt{96 \cdot f_{v,d} \cdot h \cdot n \cdot M + 9 \cdot Q^2 + 12 \cdot f_{v,d} \cdot h^2 \cdot n \cdot Q + 4 \cdot f_{v,d}^2 \cdot h^4 \cdot n^2 + 3 \cdot Q - 2 \cdot f_{v,d} \cdot h^2 \cdot n}}{4 \cdot f_{v,d} \cdot h \cdot n}$$



**Figure 9 : Contrainte de cisaillement au niveau du plan de collage pour un linteau encastéré**

Pour spécifier la longueur du linteau, on saisit la largeur de baie libre  $l_i$ . La distance théorique entre appuis ( $l_{sys}$ ) permettant de déterminer les forces internes est calculée de manière itérative à partir de  $l_i$  ainsi que de la longueur d'appui requise  $l_A$ . S'il n'est pas possible de calculer  $l_{sys}$  par l'intermédiaire de l'itération, elle pourra être modifiée manuellement.

Cas standards usuels :

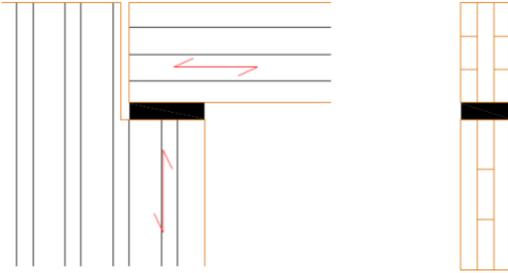


Figure 10 : Cas courant 1- Plis externes du linteau CLT horizontal ; Encastrement: 0%

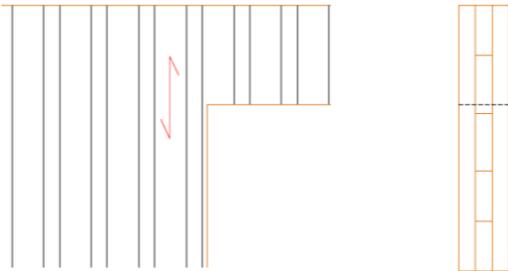


Figure 11 : Cas courant 2- Plis externes du linteau en CLT vertical ; Encastrement: 100 %

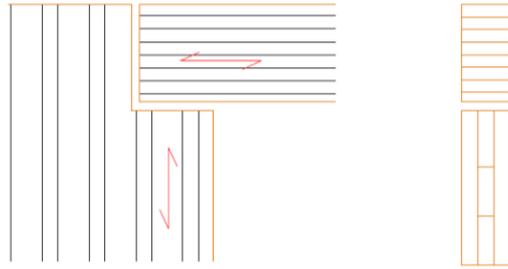


Figure 12 : Cas courant 3- Linteau en bois lamellé collé ; Encastrement: 0% (La longueur d'appui préconisée est au minimum de 200 mm).

## 6.4 Compression oblique

Le calcul de compression oblique s'effectue en appliquant la formule selon le paragraphe 6.2.2 Contraintes de compression inclinées par rapport au fil de la NF EN 1995-1-1. On ne prend en compte ici que les plis dont le fil forme un angle  $\alpha$  avec l'effort à reprendre c'est-à-dire les plis chargés en bois de bout. La contrainte est alors :

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F \cdot D}{\sum_i \frac{d_i}{\cos \alpha} \cdot L}$$

avec :

- $F$  : le chargement linéique qui s'applique en N/ml
- $d_i$  : épaisseur du/des pli(s) dont le fil forme un angle  $\alpha$  avec l'effort  $F$  (il s'agit des plis en bois de bout travaillants)

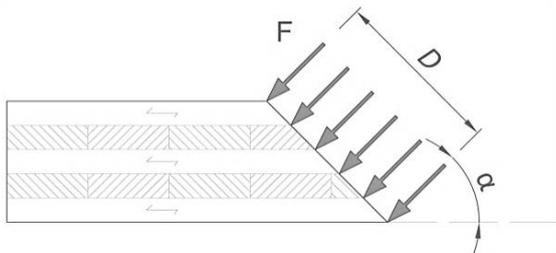


Figure 13 : Compression oblique sur un panneau Stora Enso CLT

On vérifie :

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F \cdot D}{\sum_i \frac{d_i}{\cos \alpha} \cdot L} \leq \frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,0,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha$$

$$\text{avec } f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

La détermination de  $k_{c,90}$  se fait comme au paragraphe 6.23. Il peut être nécessaire de contrôler le cisaillement roulant lorsque, pour des valeurs  $\alpha$  importantes, les plis transverses sont sollicités.

La valeur caractéristique de la résistance en compression dans le sens du fil  $f_{c,0,k}$  est donnée dans la NF EN 338.

## 6.5 Dimensionnement des panneaux Stora Enso CLT au séisme

Si l'ossature porteuse en panneaux CLT Stora Enso se trouve dans une zone à risque sismique nécessitant une évaluation de la performance sous sollicitations sismiques, il convient alors d'appliquer les règles spécifiques à l'EN 1998-1. Cette norme donne les hypothèses des sollicitations à prendre en compte et des règles de construction applicables aux bâtiments pouvant être soumis à des actions sismiques. Une attention particulière doit être portée au chapitre 8, « Règles particulières aux bâtiments en bois ».

Selon la norme EN 1998-1, section 4.2.3 Critères de régularité de la structure, le bâtiment doit être défini géométriquement comme étant régulier ou irrégulier, aussi bien en élévation qu'en plan. Le classement a une incidence sur le choix de la méthode de calcul, sur le modèle de calcul ainsi que sur le coefficient de comportement  $q$ .

Il convient d'assurer un comportement dissipatif et ductile du bâtiment. Il est par conséquent nécessaire de prévenir la formation prématurée de ruptures fragiles et de mécanismes instables. Les efforts particuliers à des zones choisies doivent être déterminés à partir de conditions d'équilibre, en partant de l'hypothèse que des rotules plastiques se sont formés à proximité immédiate (cf. EN 1998-1, section 5.2.3.3 Règle de dimensionnement en capacité).

Pour ce qui est de l'implantation des éléments de construction porteurs, on prendra soin d'avoir un flux de forces fermé et continu qui puisse être maintenu même lorsque le bâtiment est soumis à des actions sismiques, de manière à ce que les forces résultant des sollicitations sismiques cycliques puissent être dissipées de façon sûre. On portera sur ce point une attention toute particulière aux règles de calcul telles qu'elles se trouvent exposées au point 7.1 Dispositions relatives aux organes d'assemblage du présent document.

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

Les ancrages généralement utilisés sont des équerres métalliques de deux sortes assurant deux fonctions distinctes. Ils sont rapportés aux supports bois à l'aide de pointes annelées de type CNA  $\varnothing 4 \times 60$  mm

Un premier type d'équerre disposée à entraxe régulier entre le gros œuvre béton et le mur CLT sert à reprendre les efforts de cisaillement. Ces équerres sont de type Simpson Strong AE-116 ou équivalent.

Un deuxième type d'équerre dédiée à la reprise des efforts de soulèvement est disposé au droit de ces efforts entre le gros œuvre béton et le mur CLT ainsi qu'entre chaque mur d'étage superposé afin que la reprise de ces efforts de soulèvement soit continue. Ces équerres sont de type Hold down Simpson Strong Tie HTT-22 ou équivalent.

Les ancrages préconisés sont de type équerre métallique renforcée de deux sortes assurant deux fonctions distinctes. Un premier type d'équerre disposée à entraxe régulier entre la dalle (bois ou béton) et le mur CLT sert à reprendre les efforts de cisaillement. Ce type d'équerres doit permettre la reprise d'efforts sous chargement alterné. Un deuxième type d'équerre dédiée à la reprise des efforts de soulèvement dus au basculement est disposé au droit de ces efforts entre le gros œuvre béton et le mur CLT ainsi qu'entre chaque mur d'étage superposé afin que la reprise de ces efforts de soulèvement soit continue.

### 6.5.1 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 utilisée. On veillera à tenir compte des effets de torsion.

## 6.52 Analyse de la structure

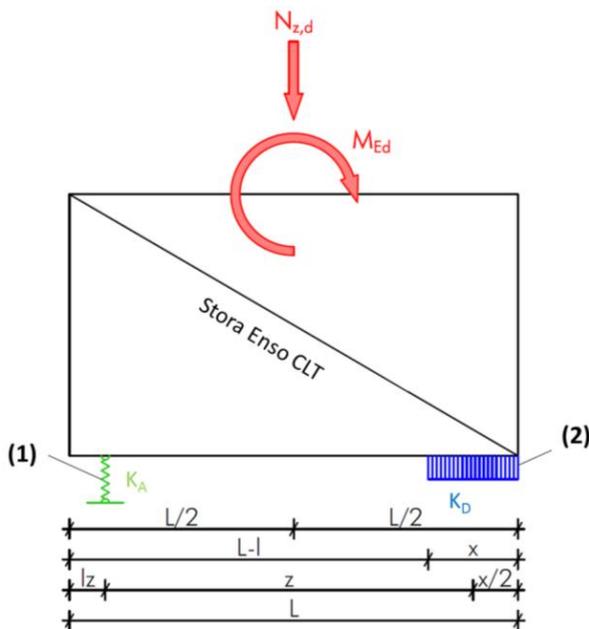
Le bâtiment peut être considéré comme un ensemble regroupant plusieurs systèmes indépendants. Chacun de ces systèmes doit pouvoir absorber et transmettre les efforts exercés. Dans la méthode du spectre de réponse, la masse d'un étage (murs, plancher, escaliers, étagères, etc.) peut être absorbée de manière concentrée dans la structure de plancher. Cf. EN 1998-1, section 4.3.3.2 **Méthode d'analyse par forces latérales.**

## 6.53 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 sur les éléments raidisseurs latéraux se trouvant en-dessous. Les éléments raidisseurs latéraux 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 transmises vers les éléments raidisseurs.

## 6.54 Diaphragme de mur en panneaux CLT de Stora Enso

Les panneaux de mur formant raidisseur et soumis à des actions latérales doivent résister au basculement (ou renversement). Il est exigé de fournir un calcul de vérification au renversement. Si l'importance du moment de renversement est telle que des forces de tractions sont exercées sur un côté, il faudra alors nécessairement utiliser des tirants d'ancrage. Dans ce cas, la taille de la zone de compression est calculée de la manière suivante :



avec :

- $N_{z,d}$  : force de dimensionnement verticale
- $M_{Ed}$  : moment de renversement utilisé pour le calcul
- $L$  : longueur de la plaque murale de raidissement
- $L_z$  : écartement du tirant d'ancrage à partir de l'extrémité de la plaque murale de raidissement
- $z$  : bras de levier interne
- $x$  : largeur de la zone de compression
- $K_A$  : rigidité des ressorts de l'ancrage (varie en fonction du tirant d'ancrage)
- $K_D$  : rigidité des ressorts de la zone de compression

$$x = \frac{R_{1,d} \cdot n + N_{z,d}}{b_{eff} \cdot f_{c,0,d}}$$

avec :

- $R_{1,d}$  : résistance en traction du tirant d'ancrage
- $n$  : nombre de tirants d'ancrage
- $f_{c,0,d}$  : résistance en compression dans le sens du fil du bois
- $b_{eff}$  : largeur effective de la section transversale du mur (= somme des épaisseurs des couches de planches disposées verticalement)
- $N_{z,d}$  : force de dimensionnement verticale

## 6.55 Déplacements

Dans le cas d'un calcul linéaire, les déplacements provoqués par l'action sismique devront être déterminés sur la base des déformations élastiques de l'ossature porteuse. Cf. EN 1998-1, section 4.3.4 **Calcul du déplacement.**

Il faudra tenir compte des effets de torsion exercés sur le bâtiment. Cf. EN 1998-1, section 4.3.4 (2).

Si l'on utilise des méthodes non linéaires, le déplacement est obtenu directement à partir du calcul non linéaire. Cf. EN 1998-1, section 4.3.4 (3).

Pour limiter les déplacements réciproques au niveau des étages, on prendra soin de respecter les limitations définies et indiquées dans la norme EN 1998-1, section 4.4.3.2 **Limitation des déplacements entre étages.**

## 6.6 Vérification des Etats limites de service

Il conviendra de s'assurer que les déformations calculées pour un panneau CLT Stora Enso utilisé en plancher, suivant les préconisations de l'Eurocode 5, sont compatibles avec les parties d'ouvrages associées comme les cloisons et les plafonds, en prenant en compte les exigences relatives pour le second œuvre comme préconisé dans l'Eurocode 0 et les DTU. En tout état de cause, sauf justification de projet à l'appui, la flèche finale ne pourra excéder  $L/250$  ou  $L$  est la portée du panneau entre appuis (cf. Eurocode 5, Annexe nationale, clause 7.2(2) Valeurs limites pour les flèches).

## 7. Mise en Œuvre

### 7.1 Dispositions relatives aux organes d'assemblage

#### 7.1.1 Généralités

Les valeurs caractéristiques des organes d'assemblages utilisés dans les assemblages bois/bois doivent être conformes à la norme la NF EN 14592 ou à l'agrément technique européen accordé pour l'organe d'assemblage correspondant pour des matériaux bois comme les résineux ou le lamellé-collé. Pour les calculs réalisés selon les normes européennes, il faudra également tenir compte des réglementations et dispositions nationales.

Les faces latérales désignent les surfaces de l'élément de construction parallèles au plan du panneau et constituées par les surfaces des plis externes.

Les chants désignent les surfaces perpendiculaires au plan du panneau qui sont constituées à la fois par des surfaces de bois de bout et des surfaces de bois de fil.

Les organes d'assemblage pouvant être utilisés sont les clous, les vis à bois, les boulons, les broches et les chevilles en conformité avec la norme NF EN 1995-1-1 ou un agrément technique européen.

Les conditions de pince sont celles décrites dans la norme NF EN 1995 pour chaque type d'assemblage énoncé ci-avant.

#### 7.1.2 Boulons et broches

La résistance caractéristique des assemblages réalisés sur les faces latérales au moyen de boulons ou broches peut être calculée selon la norme NF EN 1995-1-1. Le sens du fil du pli de surface est déterminant dans le calcul de la portance locale. Pour les panneaux CLT comportant des plis croisés en bois d'épicéa ou de sapin, la valeur caractéristique de la portance locale peut être calculée comme suit :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{32 \cdot (1 - 0.015 \cdot d)}{1.1 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{en N/mm}^2$$

avec :

- $d$  : diamètre de l'organe d'assemblage exprimé en millimètres
- $\alpha$  : angle formé par la direction de la force exercée et le sens du fil du pli de surface

Pour les panneaux CLT Stora Enso comportant des plis croisés en bois de pin, la valeur correspondante de portance locale se calcule comme suit :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{42 \cdot (1 - 0.015 \cdot d)}{1.1 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{en N/mm}^2$$

Les boulons et broches insérés dans les chants des panneaux CLT Stora Enso comportant des plis croisés ne peuvent pas être considérés comme porteurs.

Pour les boulons et broches, l'espacement minimum à observer est de  $5d$  entre eux à partir du bord chargé, et de  $3d$  depuis le bord non chargé. Ceci s'applique quel que soit l'angle formé par la direction de l'effort exercé et le sens du fil.

## 7.13 Pointes

La résistance caractéristique des assemblages réalisés sur les faces latérales au moyen de pointes peut être calculée selon la norme NF EN 1995-1-1.

Pour les panneaux CLT Stora Enso non pré-perçés comportant des plis croisés en bois d'épicéa ou de sapin, la valeur caractéristique de la portance locale peut être calculée comme suit :

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0.5} \quad \text{en N/mm}^2$$

avec :

$d$  = diamètre des clous exprimé en millimètres

Pour les panneaux CLT Stora Enso comportant des plis croisés en bois de pin, la valeur correspondante pour la portance locale se calcule comme suit :

$$f_{h,k} = 76 \cdot d^{-0.5} \quad \text{en N/mm}^2$$

Le sens du fil du pli de surface est déterminant dans le calcul de l'espacement minimum entre les pointes.

Les pointes insérées dans les chants des panneaux CLT Stora Enso comportant des plis croisés ne sont pas aptes à assurer une fonction porteuse et ne doivent donc pas être utilisées pour ce cas.

Les pointes doivent avoir un diamètre d'au moins 4mm.

Seul l'usage de pointes annelées présentant une valeur caractéristique minimale de résistance à l'arrachement du côté de la pointe de :

$$f_{ax,k} \geq 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

et une valeur caractéristique minimale de résistance à la traversée de tête de :

$$f_{head,k} \geq 100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

est autorisée lorsqu'un effort d'arrachement axial s'exerce sur celles-ci ( $\rho_k$  est la masse volumique caractéristique exprimée en  $\text{kg/m}^3$ . Elle ne doit pas excéder  $500 \text{ kg/m}^3$ ).

## 7.14 Vis et tirefonds

La résistance caractéristique des assemblages réalisés sur les faces latérales au moyen de vis ou tirefonds peut être calculée selon la norme NF EN 1995-1-1.

Pour les panneaux CLT Stora Enso non pré-perçés comportant des plis croisés en bois d'épicéa ou de sapin, la valeur caractéristique de la portance locale peut être calculée comme suit :

$$f_{h,k} = 60 \cdot d^{-0.5} \quad \text{en N/mm}^2$$

avec :

$d$  : diamètre extérieur du filetage exprimé en millimètres

Pour les panneaux CLT Stora Enso non pré-perçés comportant des plis croisés en bois de pin, la valeur correspondante pour la portance locale se calcule comme suit :

$$f_{h,k} = 76 \cdot d^{-0.5} \quad \text{en N/mm}^2$$

Pour les panneaux CLT Stora Enso non pré-perçés comportant des plis croisés en bois d'épicéa ou de sapin et dans le cadre du calcul d'assemblages par vissage sur les chants dans le bois de bout, la valeur caractéristique de la portance locale peut être déterminée de la manière suivante :

$$f_{h,k} = \frac{32 \cdot d^{-0.3}}{2.5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \quad \text{en N/mm}^2$$

avec :

$d$  : diamètre extérieur du filetage exprimé en millimètres et

$\varepsilon$  : angle formé par le sens du fil et l'axe de la vis

Pour les panneaux CLT Stora Enso non pré-perçés comportant des plis croisés en bois de pin et dans le cadre du calcul d'assemblages par vissage sur les chants perpendiculairement au fil, la valeur caractéristique de la portance locale se calcule comme suit :

$$f_{h,k} = \frac{42 \cdot d^{-0.3}}{2.5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \quad \text{en N/mm}^2$$

Le sens du fil du pli de surface est déterminant dans le calcul de l'espacement minimum entre les vis.

La résistance caractéristique des assemblages réalisés sur les chants au moyen de vis ou tirefonds et soumis à un chargement axial peut être calculée selon la norme NF EN 1995-1-1.

Dans le cas de vis utilisées dans les chants perpendiculairement au fil et soumises à un chargement axial, on réduira de 25 % le paramètre d'arrachement côté pointe  $f_{ax,k}$ .

Les vis ou tirefonds utilisés sur les faces latérales des panneaux CLT Stora Enso et soumis à des chargements en cisaillement ou axiaux doivent présenter un diamètre nominal d'au moins 6 mm ; celles utilisées dans les chants des panneaux CLT Stora Enso comportant des plis croisés doivent quant à elles présenter un diamètre nominal d'au moins 8 mm.

Lorsque l'implantation des vis insérées dans les chants ne peut pas être déterminée de façon claire (joint, bois de bout, etc.), on prendra alors en considération le cas le plus défavorable.

## 7.15 Connexions avec chevilles encastrées et connecteurs métalliques dentés (connecteurs spéciaux)

La valeur caractéristique de la capacité de charge des assemblages réalisés sur les faces latérales au moyen de chevilles encastrées et de connecteurs métalliques dentés (crampons) peut être calculée selon la norme EN 1995-1-1.

Pour les chevilles encastrées dans les chants, les dispositions qui s'appliquent sont les mêmes que pour les assemblages réalisés avec des chevilles pour bois de bout.

Les connecteurs métalliques dentés insérés dans les chants ne peuvent pas être considérés comme porteurs.

## 7.2 Dispositions générales relatives aux chantiers

### 7.21 Réception sur chantier

Les panneaux 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 panneaux à la sortie de l'usine avoisinant 12%, 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 panneaux ne soient pas en contact direct avec le sol et de sorte que rien n'entrave la circulation de l'air. La zone de stockage est ainsi aménagée sans obstacles alentours. Une protection pare pluie est indispensable.

Pour le levage, les murs sont généralement munis de deux points d'ancrage tandis que les planchers en ont quatre.

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 » et « CLT\_Quality assurance on site ».

### 7.22 Mise en œuvre

Avant le levage des panneaux CLT 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'élinguage et la capacité de la grue en fonction du poids des panneaux 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 panneaux CLT (bande anti capillarité, joints de calfeutrement...).

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

- Prévoir l'étalement provisoire des panneaux CLT en attendant leur fixation définitive.
- Prévoir une protection du CLT contre les intempéries. Pour les murs, les points singuliers à protéger sont les parties horizontales telles que les têtes de mur et les têtes d'allège. 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.

### 7.23 Assemblages des panneaux CLT

La réalisation des assemblages doit respecter scrupuleusement les préconisations de l'étude d'exécution (type, nombre, entraxes...). Entre chaque jonction de panneau est interposé un joint de calfeutrement.

- La fixation des panneaux CLT avec le gros œuvre béton se fait à l'aide de connecteurs en acier galvanisé (ex : équerre). La connexion avec le béton se fait généralement côté intérieur du mur à l'aide de cheville à expansion dans la dalle béton et de vis pour la

connexion entre l'organe et le panneau mur CLT (Figure 22 – **Exemple de liaison entre un panneau de mur CLT et le gros œuvre béton**). (Figure 23 – **Exemple de plancher bas en CLT sur muret en maçonnerie**)

- Les jonctions verticales entre deux panneaux de mur adjacents dans un même plan sont de deux types : « nez de marche » ou « planche-joint ». Dans les deux cas le connecteur est le plus souvent de type vis à bois. Les jonctions horizontales entre deux panneaux de plancher adjacents dans un même plan sont de deux types : « nez de marche » ou « planche-joint » (Figure 26 – **Exemple de liaison entre 2 panneaux de plancher CLT adjacents dans le même plan**). Dans les deux cas le connecteur est le plus souvent de type vis à bois.
- La jonction du panneau de plancher et du panneau de mur peut être réalisée de différentes façons. Le plancher repose sur le mur et est fixé par des vis à bois ou bien le plancher repose sur une cornière contre le mur le tout fixé avec des vis à bois (Figure 27 – **Exemple de liaison plancher – mur extérieur en panneau CLT**). L'étanchéité à l'air de l'ouvrage est assurée par l'interposition d'un joint mousse expansif autocollant ou d'un joint EPDM cellulaire entre le panneau de mur et celui de plancher. Une autre solution consiste à appliquer une bande adhésive spécifique le long de la jonction du panneau de mur et de plancher côté intérieur ou extérieur de la paroi.
- Les nœuds de jonction de type « paroi étage inférieur – plancher – paroi étage supérieur » sont réalisés avec des connecteurs en acier galvanisé de type équerre (Figure 28 – **Exemple de liaison paroi étage inférieur – plancher – paroi étage supérieur**). Les connecteurs sont fixés le plus souvent avec des vis à bois.

### 7.3 Performances acoustiques - compositions de mur et plancher avec du CLT Stora Enso

Stora Enso CLT tient à disposition des compositions de plancher ou de mur dont les caractéristiques acoustiques ont été testées en laboratoire et/ou in situ. Les performances obtenues sont fonction des éléments composant les parois et de leurs épaisseurs.

Les tests portant sur la performance acoustique cités ci-après ont été réalisés selon les normes internationales :

$R_w$  selon ÖNORM EN ISO 10140-2, évaluation selon ÖNORM EN ISO 717-1;

$L_n$  selon to ÖNORM EN ISO 10140-3, évaluation selon ÖNORM EN ISO 717-2;

$D_{nTw}$  selon to DIN EN ISO 140-7, évaluation selon DIN EN ISO 717-2;

#### Exemple d'un plancher intermédiaire :

Composition du plancher de haut en bas :

- Chape de ciment ép. 60mm
- Film étanche
- Résilient acoustique ép. 30mm
- Ragréage (1700 kg/m<sup>3</sup>) ép. 60mm
- Film de protection
- CLT Stora Enso ép. 150mm
- Suspentes de type Nonius ht. 70mm. Remplissage avec 60mm de laine minérale
- plaque de plâtre ép. 12,5mm

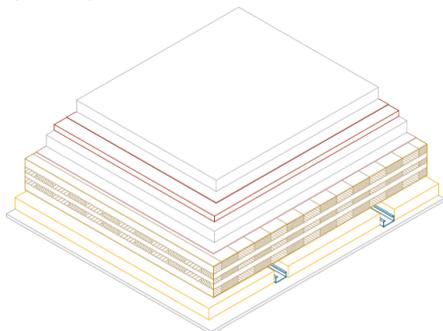


Figure 17 : Exemple de plancher intermédiaire testé

Indice d'affaiblissement acoustique :

$$R_w (C;C_{tr}) = 62 (-2; -6) \text{ dB}$$

Niveau de pression acoustique relevé à l'impact :

$$L_{nw}(C_i) = 46 (2) \text{ dB}$$

#### Exemple de mur extérieur :

Composition du mur de l'extérieur vers l'intérieur :

- Bardage bois ép. 20mm
- Litelage bois ép. 30mm
- Membrane pare vapeur

- Plaque de plâtre ép. 15mm
- Isolation ép. 200mm – a) isolation chanvre – b) isolation fibre de bois
- CLT ép. 94mm
- Isolation laine minérale ép. 50mm
- Plaque de plâtre ép. 12,5mm

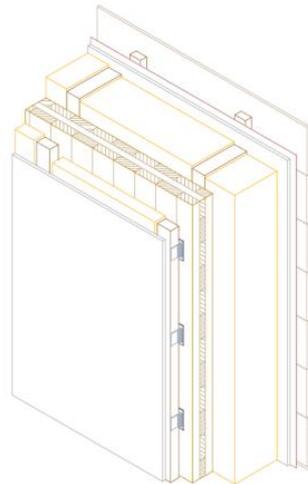


Figure 18 : Exemple de mur extérieur testé

Indice d'affaiblissement acoustique :

$$\text{a) } R_w (C;C_{tr}) = 51 (-2; -7) \text{ dB (isolation extérieure en chanvre)}$$

$$\text{b) } R_w (C;C_{tr}) = 53 (-2; -8) \text{ dB (isolation extérieure en laine minérale)}$$

Exemple de mur intérieur :

Composition du mur :

- Plaque de plâtre ép. 12mm
- Plaque de plâtre ép. 12mm
- Isolation laine minérale ép. 50mm
- Bande résiliente entre ossature métallique et CLT
- CLT Stora Enso 3 plis
- Plaque de plâtre ép. 12mm

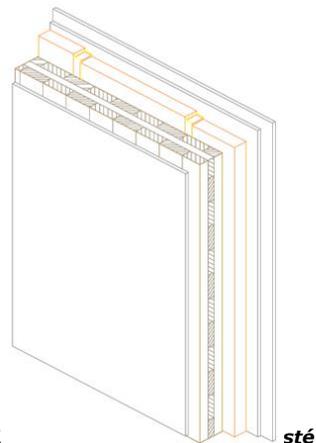


Figure 19 : E

Indice d'isolement acoustique :

$$D_{nTw} (C;C_{tr}) = 60 (-2;-8) \text{ dB}$$

## B. Résultats expérimentaux

- Rapport de synthèse N° 122/2011/01 – BB de l'organisme Holzforschung Austria : rapport de synthèse portant sur les propriétés de résistance au feu REI 60 d'éléments porteurs constitués de panneaux massifs contrecollés et employés comme éléments de mur « Stora Enso CLT 83 C3s », soit nus avec une épaisseur  $\geq 83$ mm, soit revêtus de plaques de plâtre.
- Rapport de synthèse N° 122/2011/02 – BB de l'organisme Holzforschung Austria : rapport de synthèse portant sur les propriétés de résistance au feu REI 90 d'éléments porteurs constitués de panneaux massifs contrecollés et employés comme éléments de mur « Stora Enso CLT 83 C3s », soit nus avec une épaisseur  $\geq 83$ mm, soit revêtus de plaques de plâtre.
- Rapport de synthèse N° 122/2011/03 – BB de l'organisme Holzforschung Austria : rapport de synthèse portant sur les propriétés de résistance au feu REI 120 d'éléments porteurs constitués de panneaux massifs contrecollés et employés comme éléments de mur « Stora Enso CLT 83 C3s », soit nus avec une épaisseur  $\geq 83$ mm, soit revêtus de plaques de plâtre.
- Rapport de synthèse N° 122/2011/04 – BB de l'organisme Holzforschung Austria : rapport de synthèse portant sur les propriétés de résistance au feu REI 60 d'éléments porteurs constitués de panneaux massifs contrecollés et employés comme éléments de plafond ou de toit « Stora Enso CLT 97 L3s », avec une épaisseur  $\geq 97$ mm et revêtus de plaques de plâtre disposées sur le côté non exposé au feu.
- Rapport de synthèse N° 122/2011/05 – BB de l'organisme Holzforschung Austria : rapport de synthèse portant sur les propriétés de résistance au feu REI 90 d'éléments porteurs constitués de panneaux massifs contrecollés et employés comme éléments de plafond ou de toit « Stora Enso CLT 138 L5s », avec une épaisseur  $\geq 138$ mm et revêtus de plaques de plâtre.
- EXPERT'S REPORT – Holzforschung Austria – Détermination de la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau au niveau du joint collé des éléments CLT dans le cas de deux conditions de climat différentes.
- Expert Opinion regarding the sound absorption properties of "Cross Laminated Timber-Elements" – N°12076/AB i9 – FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ACOUSTICS AND BUILDING PHYSICS.
- TEST REPORT N°588/2008-BG – Holzforschung Austria - Determination of the air permeability of an element with two different joint configurations.
- EXPERT'S REPORT – Holzforschung Austria – Simulation WUFI de transferts hygrothermiques dans des configurations de mur pour différents climats français.
- Rapport d'essai sur la performance acoustique des structures en CLT – Université de Graz – Projet numéro B12.152.001.310 à B12.156.020.313 – Tests réalisés selon ÖNORM EN ISO 10140-2 et ÖNORM EN ISO 10140-3 – Evaluations selon ÖNORM EN ISO 717-1 et ÖNORM EN ISO 717-2.
- Rapport d'essai sur la performance acoustique des structures en CLT – Université de Graz – Projet "Dataholz" – Tests réalisés selon ÖNORM EN ISO 10140-2 et ÖNORM EN ISO 10140-3 –Evaluations selon ÖNORM EN ISO 717-1 and ÖNORM EN ISO 717-2.
- Rapport d'essai sur la performance acoustique des structures en CLT (mesures in situ) – Schallschutz im Holzbau SSIH – MT-Hotel – Tests réalisés selon DIN EN ISO 140-4 et DIN EN ISO 140-7 – Evaluation selon ÖNORM EN ISO 717-1 et ÖNORM EN ISO 717-2.
- FDES : UMWELT-PRODUKTDEKLARATION selon ISO 14025 et EN 15804. EPD-SHL-2012211-D. Institut Bauen und Umwelt (IBU).

## C. Références

### Bâtiments à usage d'habitation

- Maison individuelle de plein pied à Saint Gilles Croix de Vie (85 800)  
Livraison mai 2011.  
Entreprise de construction : ARBODOMIA S.A.S
- Maison individuelle R+1 à Saint Gilles Croix de Vie (85 800).  
Livraison juillet 2011.  
Entreprise de construction : ARBODOMIA S.A.S
- Maison individuelle R+1 à Saint Molf (44 350).  
Livraison juin 2011.  
Entreprise de construction : ARBODOMIA S.A.S
- Bâtiment à usage d'habitation R+7 à Londres (Grande- Bretagne).  
Livraison été 2011/ 2012.  
Entreprise de construction : Eurban Ltd.
- Bâtiment à usage d'habitation R+3 à Ansbach (Allemagne).

Livraison été 2010- 2012.

Entreprise de construction : Müller Holzbau GmbH

- Bâtiment à usage d'habitation R+1 à Gemeinlebarn (Autriche).  
Livraison été 2010/ 2011.  
Entreprise de construction : Ing. Pöchhacker GmbH
- Bâtiment à usage d'habitation R+1 à St. Thomas/ Blasenstein (Autriche).  
Livraison été 2010.  
Entreprise de construction : Krückl Baugesellschaft m.b.H. & Co KG

### Bâtiments publics

- Bâtiment public (Ecole) R+1 à Egggham (Autriche).  
Livraison été 2010.  
Entreprise de construction : Zimmerei Josef Obermeier
- Bâtiment public (Crèche) à Eppenstein (Autriche).  
Livraison été 2010.  
Entreprise de construction : Pirker Holzbau- Zimmerei ; ZMP GmbH
- Bâtiment public (Hôtel) à Kals am Großglockner (Autriche).  
Livraison été 2012.  
Entreprise de construction : Zimmerhofer GmbH
- Bâtiment public (Hôtel) R+3 (2 niveaux en CLT) à Zeltweg (Autriche). Livraison été 2012.  
Entreprise de construction : Zimmerei Alpe GmbH
- Bâtiment public (Maison de retraite) R+3 à Libramont (Belgique).  
Livraison été 2012.  
Entreprise de construction : Dermedil S.A.

### Batiments de bureaux

- Bâtiment de bureau R+2 à Bad St. Leonhard (Autriche).  
Livraison été 2009.  
Entreprise de construction : Baumgartner Raimund GmbH

### Bâtiments à usage commercial

- Bâtiment industriel à Arthon en Retz (44 320).  
Livraison juin 2010.  
Entreprise de construction : Energie Naturelle 44
- Bâtiment industriel avec bureaux à Ybbs/ Donau (Autriche).  
Livraison été 2011/ 2012.  
Entreprise de construction : Ing. Pöchhacker GmbH ; Glöckel Holzbau GmbH ; Teerag- Asdag

### Travaux de surélévation

- Bâtiment public (Spa) à atez ob Savi (Slovénie). Livraison été 2011.  
Entreprise de construction : Matjaž Avši; Begrad d.d.

Stora Enso dispose d'un nombre important d'autres réalisations en CLT en Autriche, Allemagne et Italie.

## Tableaux et figures du Dossier Technique

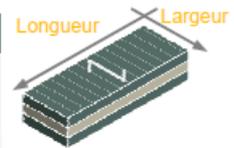
Caractéristique	Valeur
<i>Éléments</i>	
Épaisseur	de 42 à 350 mm
Largeur	≤ 3,00 m
Longueur	≤ 16,50 m
Nombres de couches (plis)	3 ≤ n ≤ 20
Nombres de couches (plis) consécutifs disposées dans la même direction (sens du fil du bois)	≤ 2 lorsque n = 5 ≤ 3 lorsque n > 5
Largeur maximale des joints entre les planches - pour 10 % des planches - pour 3 % des planches	2 mm 4 mm
Plaques monocouches	
Largeur	de 250 à 1 600 mm
Planches	
Matériau	résineux (épicéa, sapin, pin)
Classe de résistance conformément à la norme EN 338 <sup>15</sup>	≥ C16*
Épaisseur	de 14 à 45 mm
Largeur	de 40 à 300 mm
Ratio largeur sur épaisseur des plis croisés (dans la mesure où les planches ne sont pas encollées sur chant avec fonction portante)	≥ 4:1
Humidité du bois conformément à la norme EN 13183-2 <sup>16</sup>	12 ± 2 %
<p>* Au sein de chaque pli, un maximum de 10 % des planches peuvent appartenir à une classe de résistance inférieure sans que cela soit pris en compte. Les combinaisons suivantes sont envisageables :</p> <p style="padding-left: 40px;">90 % C24 / 10 % C16 ; 90 % C30 / 10 % C24 ; 90 % C35 / 10 % C30 et 90 % C40 / 10 % C35.</p>	

**Tableau 3 : Dimensions et structure constitutive des panneaux CLT Stora Enso (extrait de ATE-08/0271)**

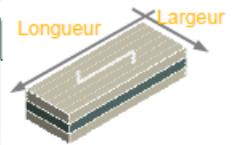
EE	Caractéristique exigée	Méthode de vérification	Classe / Catégorie d'utilisation / Valeur												
<b>Résistance mécanique et stabilité</b>															
1	Actions mécaniques parallèlement au panneau de bois massif	Lors de la réalisation des calculs pour chacune des couches, on utilisera les valeurs de résistance et de rigidité caractéristiques des résineux de la classe de résistance correspondante, conformément à la norme EN 338 <sup>15</sup> et en tenant compte de l'Annexe 2. De plus, les valeurs suivantes s'appliquent :													
	Actions mécaniques perpendiculairement au panneau de bois massif	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Caractéristique</th> <th></th> <th>Épicéa / sapin</th> <th>Pin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Contrainte de cisaillement roulant (5 % – fractile)</td> <td><math>f_{R,k}</math></td> <td>1,25 N/mm<sup>2</sup></td> <td>1,50 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Coefficient de cisaillement par torsion (valeur moyenne)</td> <td><math>G_{R,mean}</math></td> <td>50 N/mm<sup>2</sup></td> <td>60 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> </tbody> </table>		Caractéristique		Épicéa / sapin	Pin	Contrainte de cisaillement roulant (5 % – fractile)	$f_{R,k}$	1,25 N/mm <sup>2</sup>	1,50 N/mm <sup>2</sup>	Coefficient de cisaillement par torsion (valeur moyenne)	$G_{R,mean}$	50 N/mm <sup>2</sup>	60 N/mm <sup>2</sup>
	Caractéristique		Épicéa / sapin	Pin											
	Contrainte de cisaillement roulant (5 % – fractile)	$f_{R,k}$	1,25 N/mm <sup>2</sup>	1,50 N/mm <sup>2</sup>											
	Coefficient de cisaillement par torsion (valeur moyenne)	$G_{R,mean}$	50 N/mm <sup>2</sup>	60 N/mm <sup>2</sup>											
Utilisation d'organes d'assemblage	Conformément à la norme EN 1995-1-1 ; pour plus de détails, voir Annexe 4.														
Fluage et durée de chargement	Conformément à la norme EN 1995-1-1.														
Résistance à la déformation	Pendant l'utilisation, le taux d'humidité ne doit pas varier au point que des déformations indésirables apparaissent.														
<b>Protection contre l'incendie</b>															
2	<b>Réaction au feu</b>														
	Éléments de construction en bois, excepté pour les planchers	Décision 2003/43/EC de la Commission	Euroclasse D-s2,dO												
	Planchers		Euroclasse D <sub>fl</sub> -s1												
	<b>Résistance au feu</b>														
Taux de carbonisation	EN 1995-1-2	La performance n'a pas été déterminée.													
<b>Hygiène, santé et protection de l'environnement</b>															
3	Perméabilité à la vapeur $\mu$	EN 12524 <sup>17</sup>	de 20 à 50												
	Émanations de formaldéhyde		La performance n'a pas été déterminée.												
<b>Sécurité d'utilisation</b>															
4	Glissance		La performance n'a pas été déterminée.												
	Résistance aux impacts		La performance n'a pas été déterminée.												
<b>Protection contre le bruit</b>															
5	Isolation contre les bruits d'avion		La performance n'a pas été déterminée.												
	Isolation contre les bruits d'impact		La performance n'a pas été déterminée.												
	Absorption du son		La performance n'a pas été déterminée.												
<b>Économie d'énergie et rétention de chaleur</b>															
6	Conductivité thermique $\lambda$	EN 12524 <sup>17</sup>	0,13 W/(m <sup>2</sup> ·K)												
	Étanchéité à l'air		La performance n'a pas été déterminée.												
	Inertie thermique $C_p$	EN 12524 <sup>17</sup>	1.600 J/(kg·K)												
<b>Durabilité</b>															
–	Emploi uniquement dans le cadre des classes d'utilisation	EN 1995-1-1	1 et 2												

**Tableau 4 : Données de résistance et performances des panneaux CLT Stora Enso (extrait de ATE-08/0271)**

Panneaux C									
Épaisseur nominale [mm]	Dénomination [—]	Plis [—]	Disposition des lamelles [mm]						
			C	L	C	L	C	L	C
60	C3s	3	20	20	20				
80	C3s	3	30	20	30				
90	C3s	3	30	30	30				
100	C3s	3	30	40	30				
120	C3s	3	40	40	40				
100	C5s	5	20	20	20	20	20		
120	C5s	5	30	20	20	20	30		
140	C5s	5	40	20	20	20	40		
160	C5s	5	40	20	40	20	40		



Panneaux L									
Épaisseur nominale [mm]	Dénomination [—]	Plis [—]	Disposition des lamelles [mm]						
			L	C	L	C	L	C	L
60	L3s	3	20	20	20				
80	L3s	3	30	20	30				
90	L3s	3	30	30	30				
100	L3s	3	30	40	30				
120	L3s	3	40	40	40				
100	L5s	5	20	20	20	20	20		
120	L5s	5	30	20	20	20	30		
140	L5s	5	40	20	20	20	40		
160	L5s	5	40	20	40	20	40		
180	L5s	5	40	30	40	30	40		
200	L5s	5	40	40	40	40	40		
160	L5s-2*	5	60	40	60				
180	L7s	7	30	20	30	20	30	20	30
200	L7s	7	20	40	20	40	20	40	20
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
220	L7s-2*	7	60	30	40	30	60		
240	L7s-2*	7	80	20	40	20	80		
260	L7s-2*	7	80	30	40	30	80		
280	L7s-2*	7	80	40	40	40	80		
300	L8s-2**	8	80	30	80	30	80		
320	L8s-2**	8	80	40	80	40	80		



\* Couches de surface constituées de 2 couches longitudinales.

\*\* Les couches de surface ainsi que la couche intérieure sont constituées de 2 couches longitudinales.

Dernière mise à jour . 04/2012

Largeur (largeurs facturées) : 245 cm, 275 cm, 295 cm

Longueur (longueurs de production) : à partir d'une longueur de production minimum de 8,00 m par largeur de facturation ; jusqu'à une longueur maximum de 16,00 m (avec progression par incréments de 10 cm).

Tableau 5 : Compositions standards des panneaux CLT Stora Enso

Exemple : structure d'un panneau CLT en bois massif composé de cinq couches

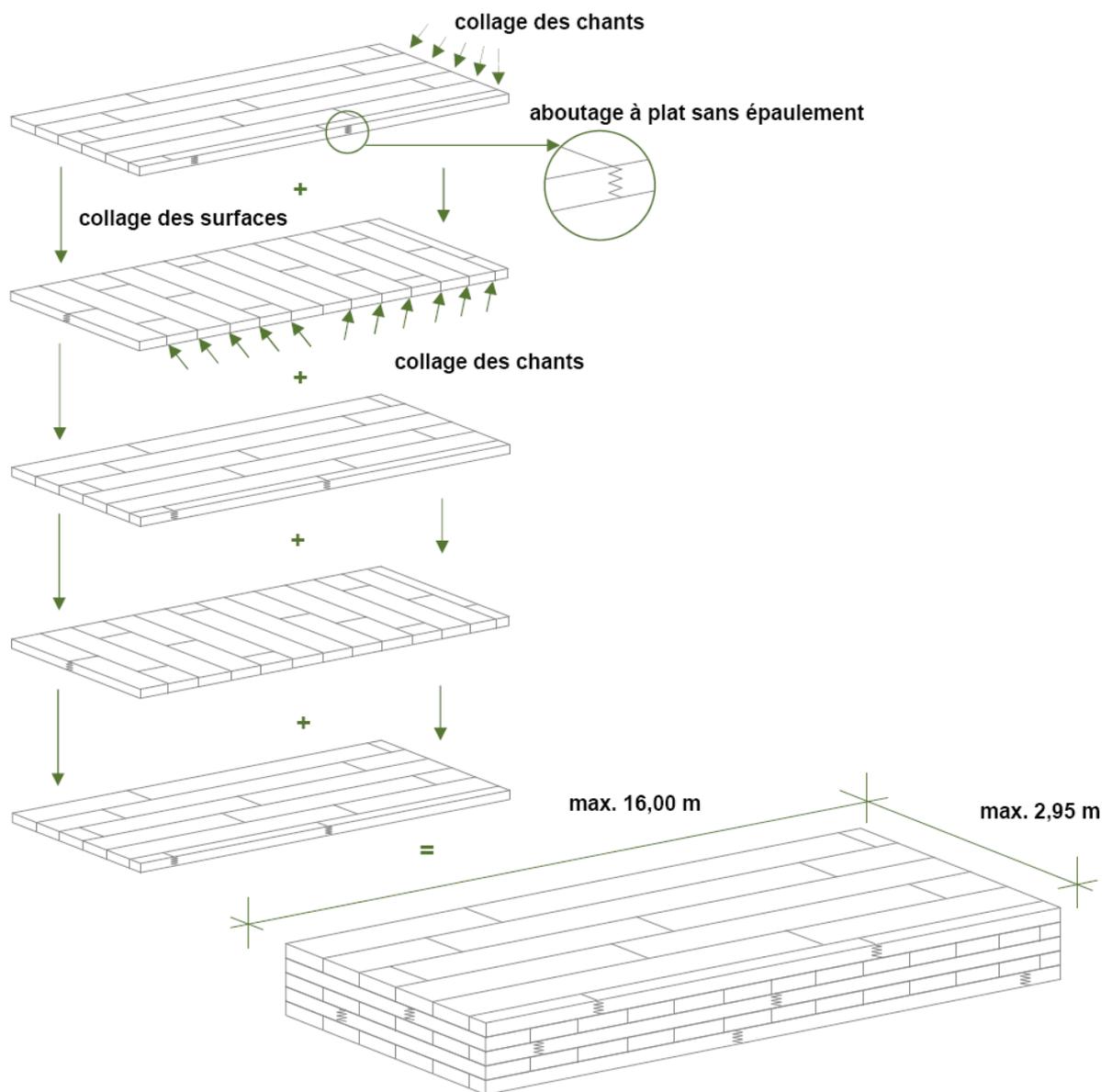


Figure 20 : Exemple de structure de panneau CLT Stora Enso

Propriété	Référence	Valeur
<b>Résistance mécanique</b>		
<b>1. Perpendiculaire au plan du panneau CLT</b>		
Module d'élasticité		
– parallèle au fil du bois des lamelles $E_{0, \text{mean}}$	EN 338	11 000 N/mm <sup>2</sup>
– perpendiculaire au fil du bois des lamelles $E_{90, \text{mean}}$	EN 338	370 N/mm <sup>2</sup>
Module de cisaillement		
– parallèle au fil du bois des lamelles $G_{\text{mean}}$	EN 338	690 N/mm <sup>2</sup>
– perpendiculaire au fil du bois des lamelles, coefficient de cisaillement par torsion $G_{R, \text{mean}}$	ATE-08/0271, annexe 3	50 N/mm <sup>2</sup> (sapin) 60 N/mm <sup>2</sup> (pin)
Résistance à la flexion		
– parallèle au fil du bois des lamelles $f_{m, k}$	EN 338	24 N/mm <sup>2</sup>
Résistance à la traction		
– perpendiculaire au fil du bois des lamelles $f_{t, 90, k}$	EN 338	0,4 N/mm <sup>2</sup>
Résistance à la compression		
– perpendiculaire au fil du bois des lamelles $f_{c, 90, k}$	EN 338	2,5 N/mm <sup>2</sup>
Résistance au cisaillement		
– parallèle au fil du bois des lamelles $f_{v, k}$	EN 338	4,0 N/mm <sup>2</sup>
– perpendiculaire au fil du bois des lamelles (contrainte de cisaillement par torsion) $f_{R, k}$	ATE-08/0271, annexe 3	1,25 N/mm <sup>2</sup> (sapin) 1,5 N/mm <sup>2</sup> (pin)
<b>2. Dans le plan du panneau CLT</b>		
Module d'élasticité		
– parallèle au fil du bois des lamelles $E_{0, \text{mean}}$	EN 338	11 000 N/mm <sup>2</sup>
Module de cisaillement		
– parallèle au fil du bois des lamelles $G_{\text{mean}}$	EN 338 (sans test)	690 N/mm <sup>2</sup>
Résistance à la flexion		
– parallèle au fil du bois des lamelles $f_{m, k}$	EN 338	24 N/mm <sup>2</sup>
Résistance à la traction		
– parallèle au fil du bois des lamelles $f_{t, 0, k}$	EN 338	14 N/mm <sup>2</sup>
Résistance à la compression		
– parallèle au fil du bois des lamelles $f_{c, 0, k}$	EN 338	21 N/mm <sup>2</sup>
Résistance au cisaillement		
– Défaut de cisaillement sur l'ensemble du panneau pour une résistance caractéristique au cisaillement de		3,5 N/mm <sup>2</sup>
– Défaut de cisaillement perpendiculairement au fil du bois, dans les joints entre des lamelles disposées parallèlement les unes aux autres, pour une résistance caractéristique au cisaillement de	Expertise réalisée par Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß (02/03/2010), 787_Expert opinion_CLT,	8,0 N/mm <sup>2</sup>
– Défaut de cisaillement au niveau des surfaces de contact de lamelles collées orthogonalement dans le cas de moments de torsion pour une résistance caractéristique au cisaillement de	Expert opinion on C13-Berlin and amendments to Z-9.1-559, Karlsruhe University, Karlsruhe	2,5 N/mm <sup>2</sup> (sapin) 3,0 N/mm <sup>2</sup> (pin)
<b>Durabilité et autres facteurs</b>		
Fluage et durée du chargement		1995-1-1
Résistance à la déformation	En cours d'utilisation, la teneur en eau ne doit pas changer au point de provoquer des déformations défavorables.	
Utilisation d'organes d'assemblage	Selon la norme EN 1995-1-1 ; pour plus d'informations, reportez-vous à ATE-08/0271, annexe 4	

**Tableau 6 : Propriétés mécaniques des panneaux CLT Stora Enso**

PANNEAUX C : couches de parement disposées transversalement																		
Épaisseur nominale [mm]	Plis	c				I [mm]	c [mm]	I [mm]	c [mm]	A <sub>net</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>util</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>util</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>effective</sub> [cm <sup>4</sup> ] (en fonction de la longueur de travée L)			I <sub>effective</sub> /I <sub>util</sub> [%] (en fonction de la longueur de travée L)		
		l	c	l	c								L = 1 m	L = 2 m	L = 2,95 m	L = 1 m	L = 2 m	L = 2,95 m
60	3s	20	20	20	20	20	20	20	400	600	1800	1249	1577	1657	69,4	87,6	92,1	
80	3s	30	30	30	30	30	30	30	600	800	4267	3181	3939	3939	63,8	86,1	92,3	
90	3s	30	30	30	30	30	30	30	600	900	6075	3181	4790	5305	52,4	78,8	87,3	
100	3s	30	40	40	30	30	40	30	600	1000	8333	3641	5994	6843	43,7	71,9	82,1	
120	3s	40	40	40	40	40	40	40	800	1200	14400	5743	9991	11737	39,9	69,4	81,5	
100	5s	20	20	20	20	20	20	20	600	1000	8333	3625	5458	6019	43,5	65,5	72,2	
120	5s	30	20	20	20	30	30	30	800	1200	14400	5793	9682	11085	40,2	67,2	77,0	
140	5s	40	20	20	20	40	40	40	1000	1400	22867	8440	15078	17806	36,9	65,9	77,9	
160	5s	40	20	20	20	40	40	40	1200	1600	34133	12122	21680	25608	35,5	63,5	75,0	

PANNEAUX L : couches de parement disposées longitudinalement																		
Épaisseur nominale [mm]	Plis	l				I [mm]	c [mm]	I [mm]	c [mm]	A <sub>net</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>util</sub> [cm <sup>2</sup> ]	I <sub>util</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>effective</sub> [cm <sup>4</sup> ] (en fonction de la longueur de travée L)			I <sub>effective</sub> /I <sub>util</sub> [%] (en fonction de la longueur de travée L)		
		l	c	l	c								L = 2 m	L = 4 m	L = 6 m	L = 2 m	L = 4 m	L = 6 m
60	3s	20	20	20	20	20	20	20	400	600	1800	1577	1691	1714	87,6	93,9	95,2	
80	3s	30	30	30	30	30	30	30	600	800	4267	3675	4053	4133	86,1	95,0	96,9	
90	3s	30	30	30	30	30	30	30	600	900	6075	4790	5539	5769	78,8	91,2	93,9	
100	3s	30	40	40	30	30	40	30	600	1000	8333	5995	7247	7543	71,9	87,0	90,5	
120	3s	40	40	40	40	40	40	40	800	1200	14400	9991	12613	13277	69,4	87,6	92,2	
100	5s	20	20	20	20	20	20	20	600	1000	8333	5458	6270	6449	65,5	75,2	77,4	
120	5s	30	20	20	20	30	30	30	800	1200	14400	9682	11752	12424	67,2	81,6	85,0	
140	5s	40	20	20	20	40	40	40	1000	1400	22867	15078	19175	20213	65,9	83,9	88,4	
160	5s	40	20	20	20	40	40	40	1200	1600	34133	21680	27580	29074	63,5	80,8	86,8	
180	5s	40	30	40	30	40	40	40	1200	1800	48600	25338	35310	38154	52,1	72,7	78,5	
200	5s	40	40	40	40	40	40	40	1200	2000	66667	29001	43666	48294	43,5	65,5	72,4	
160	5s - 2	60	40	60	40	60	40	60	1200	1600	34133	21766	29399	31575	63,8	86,1	92,5	
180	7s	30	20	30	20	30	20	30	1200	1800	48600	25051	33842	36227	51,5	69,6	74,5	
200	7s	20	40	20	40	20	40	20	800	2000	66667	20997	30661	34679	31,5	46,0	50,3	
240	7s	30	30	40	30	40	30	40	1200	2400	115200	35836	58475	68643	31,1	50,8	57,6	
220	7s - 2	60	30	40	30	60	30	60	1600	2200	88733	42978	65856	73412	48,4	74,2	82,7	
240	7s - 2	80	20	40	20	80	20	80	2000	2400	63869	93199	102454	106194	55,4	80,9	88,9	
260	7s - 2	80	30	40	30	80	30	80	2000	2600	146467	65346	106827	122279	44,6	72,9	83,5	
280	7s - 2	80	40	40	40	80	40	80	2000	2800	182933	67524	120622	143182	36,9	65,9	78,3	
300	8s - 2	80	30	80	30	80	30	80	24000	3000	225000	96872	158836	18919	43,1	70,6	84	
320	8s - 2	80	40	80	40	80	40	80	24000	3200	273067	96978	173440	205926	35,5	63,5	75,4	

A<sub>net</sub> : valeur de section utilisée pour calculer les contraintes de compression exercées selon la direction principale.  
 A<sub>util</sub> : valeur de section utilisée pour calculer les contraintes de cisaillement exercées par le transfert de charge selon la direction principale des couches de surface.  
 I<sub>util</sub> : moment d'inertie pour une section entière — valeur de référence uniquement.  
 I<sub>effective</sub> / I<sub>util</sub> : coefficient indiquant dans quelle proportion les couches transversales influent sur le moment d'inertie de la section.  
 I<sub>effective</sub> : rayon d'inertie de la section composée pour le calcul de renforcement :  $i_{effective} = \sqrt{I_{effective} / A_{net}}$

Tableau 7 : Caractéristiques géométriques de différents panneaux CLT Stora Enso – Classe de résistance C24





## Panneau CLT pour flexion sur chant et diaphragme

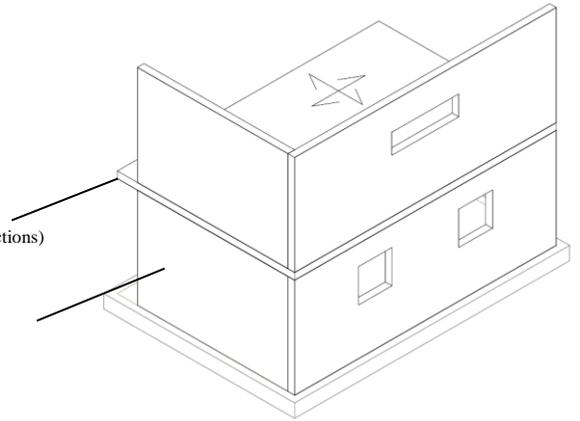
Nom	1 2 3 4 5 6 7 8 9										Limite de charge (E.L.U.)			Résistance à la flexion (E.L.S.)					
	d [mm]											Flexion z,0		Flexion z,90		Flexion z,0		Flexion z,90	
		d brut [mm]	A brut [cm <sup>2</sup> ]										f <sub>m,z,0,k</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>m,z,90,k</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>V,z,k</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E* <sub>m,0,mean</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E* <sub>m,90,mean</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	G* <sub>mean</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	
60 L3s	20	20	20									16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
80 L3s	30	20	30									18,00	6,00	6,00	2,00	8.250	2.750	518	
90 L3s	30	30	30									16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
100 L3s	30	40	30									14,40	9,60	9,60	3,20	6.600	4.400	518	
120 L3s	40	40	40									16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
160 L5s - 2	30	30	40	30								18,00	6,00	6,00	2,00	8.250	2.750	518	
100 L5s	20	20	20	20	20							14,40	9,60	9,60	3,20	6.600	4.400	518	
120 L5s	30	20	20	20	30							16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
140 L5s	40	20	20	20	40							17,14	6,86	6,86	2,29	7.857	3.143	518	
160 L5s	40	20	40	20	40							18,00	6,00	6,00	2,00	8.250	2.750	518	
180 L5s	40	30	40	30	40							16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
200 L5s	40	40	40	40	40							14,40	9,60	9,60	3,20	6.600	4.400	518	
180 L7s	30	20	30	20	30	20	30					16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
200 L7s	20	40	20	40	20	40	20	20				9,60	14,40	14,40	3,20	4.400	6.600	518	
240 L7s	30	40	30	40	30	40	30	240				12,00	12,00	12,00	3,50	5.500	5.500	518	
220 L7s - 2	30	30	30	40	30	30	30	220				17,45	6,55	6,55	2,18	8.000	3.000	518	
240 L7s - 2	40	40	20	40	20	40	40	240				20,00	4,00	4,00	1,33	9.167	1.833	518	
260 L7s - 2	40	40	30	40	30	40	40	260				18,46	5,54	5,54	1,85	8.462	2.538	518	
280 L7s - 2	40	40	40	40	40	40	40	280				17,14	6,86	6,86	2,29	7.857	3.143	518	
300 L8s - 2	40	40	30	40	30	40	40	300				19,20	4,80	4,80	1,60	8.800	2.200	518	
320 L8s - 2	40	40	40	40	40	40	40	320				18,00	6,00	6,00	2,00	8.250	2.750	518	
60 C3s	20	20	20									16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
80 C3s	30	20	30									18,00	6,00	6,00	2,00	8.250	2.750	518	
90 C3s	30	30	30									16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
100 C3s	30	40	30									14,40	9,60	9,60	3,20	6.600	4.400	518	
120 C3s	40	40	40									16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
100 C5s	20	20	20	20								14,40	9,60	9,60	3,20	6.600	4.400	518	
120 C5s	30	20	20	20	30							16,00	8,00	8,00	2,67	7.333	3.667	518	
140 C5s	40	20	20	20	40							17,14	6,86	6,86	2,29	7.857	3.143	518	
160 C5s	40	20	40	20	40							18,00	6,00	6,00	2,00	8.250	2.750	518	

Tableau 10 : Valeurs des résistances caractéristiques des panneaux CLT Stora Enso – Classe de résistance C24

1. On emploie généralement des panneaux CLT dont la hauteur est égale à la hauteur de l'étage, donc sans aucun joint.

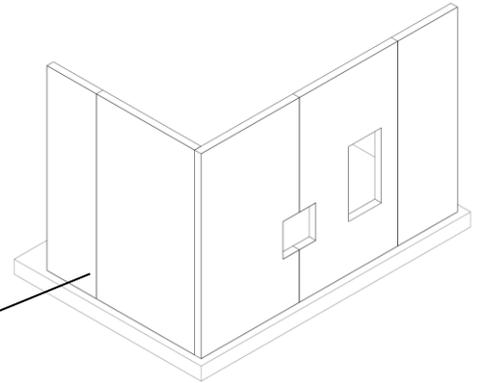
dalle de plancher en CLT  
(Plancher d'un seul tenant travaillant dans les 2 directions)

hauteur max. de paroi : 2,95m  
(voire 3,95m sur demande)



2. Si la hauteur des parois est supérieure à 2,95m ou si le choix est d'éviter l'utilisation de panneaux de très grande largeur (nécessité dans ce cas de transports exceptionnels), il est alors possible d'utiliser les panneaux verticalement.

joint de mur vertical



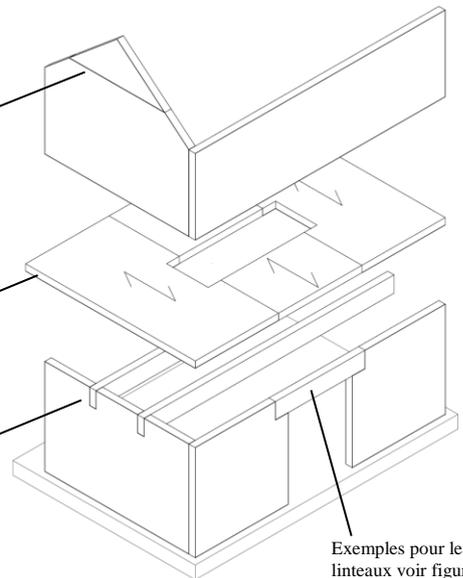
3. Si les solutions 1 et 2 ne sont pas applicables, il faudra alors abouter les panneaux muraux horizontalement.

joint de mur horizontal

dalle de plancher en CLT  
(Plancher en plusieurs éléments travaillant dans une seule direction)

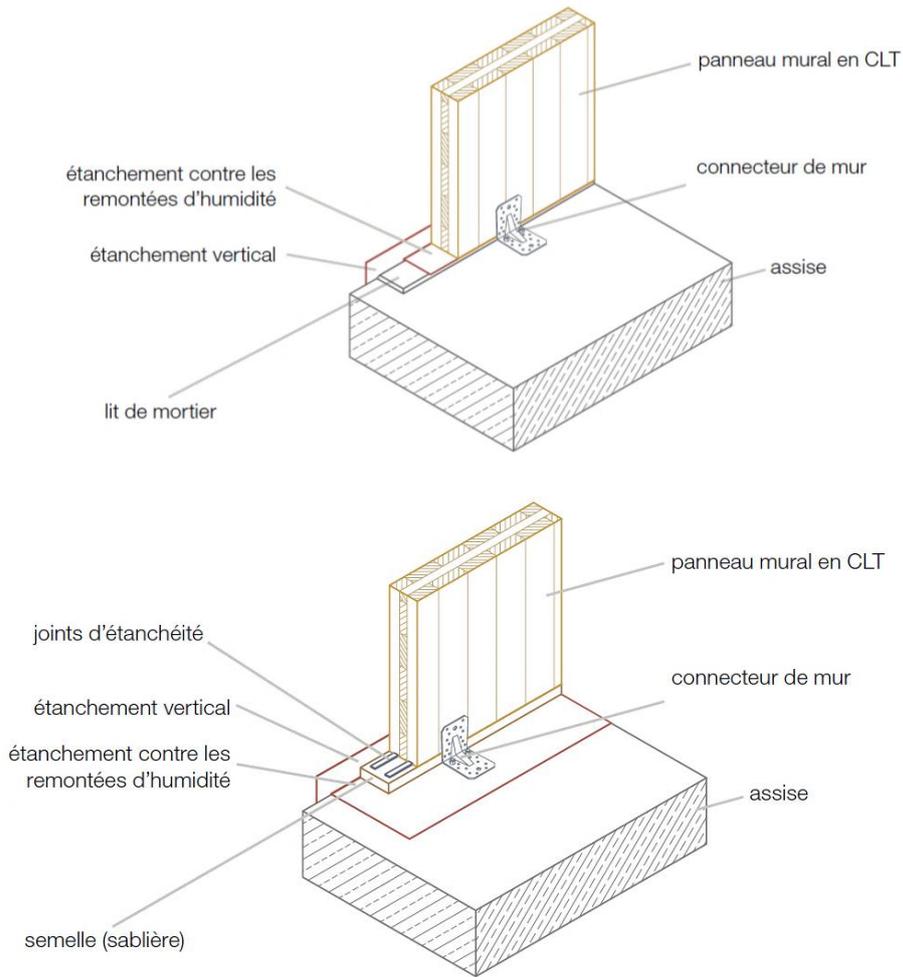
Poutre de renfort

Exemples pour les linteaux voir figure 29

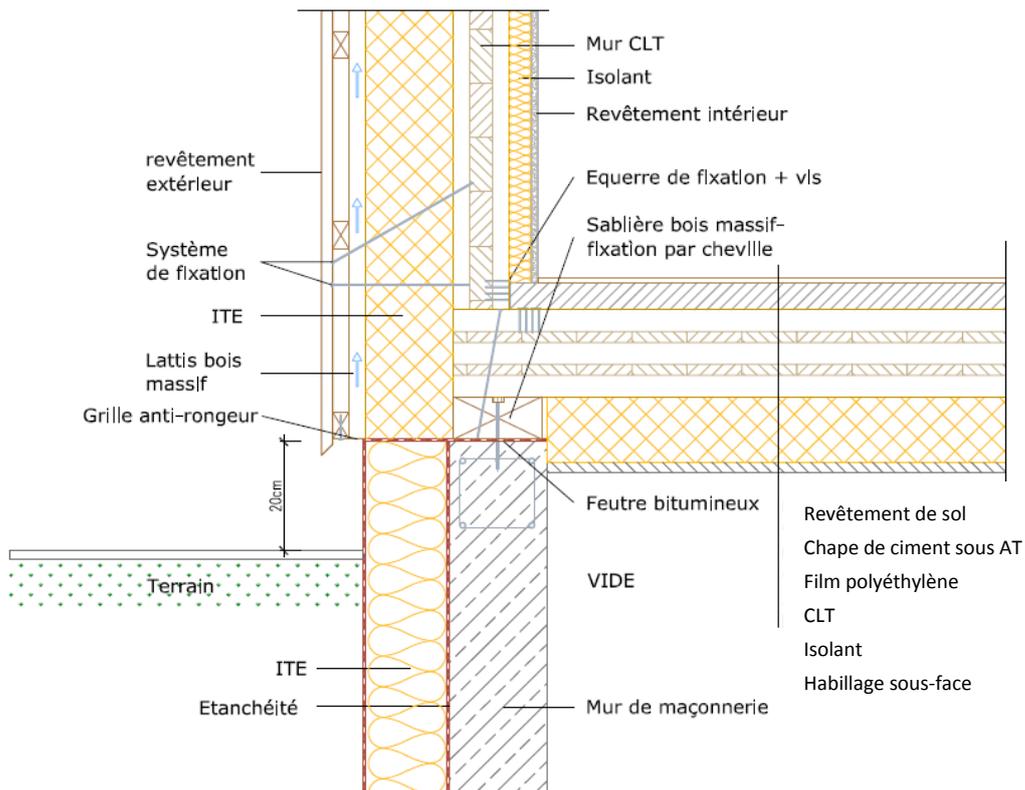


De façon générale, la conception des façades et notamment l'implantation des ouvertures, doit tenir compte du cheminement des efforts verticaux et horizontaux à reprendre et de leur continuité.

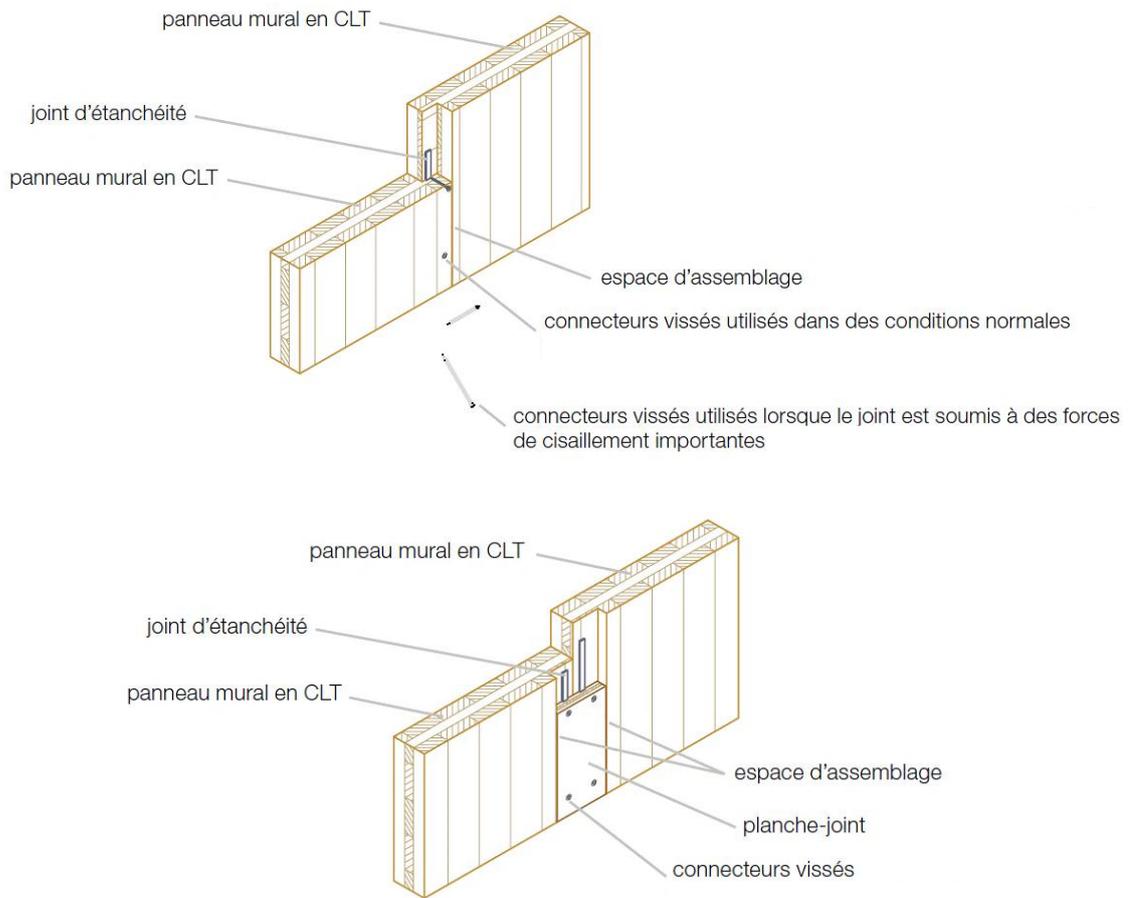
**Figure 21 : Règles de base en matière de construction – Principe général de conception**



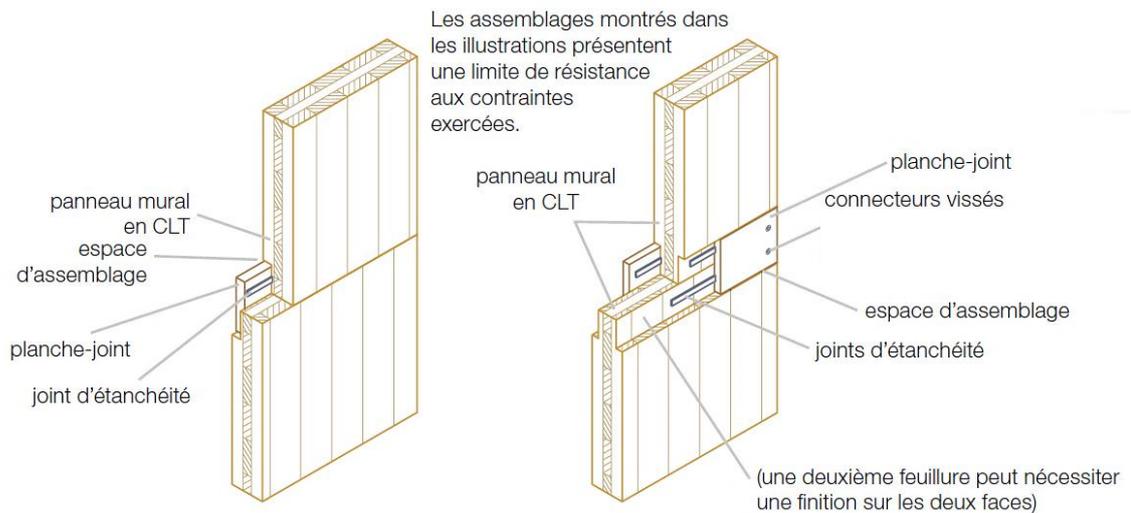
**Figure 22 : Exemples de liaison entre un panneau de mur CLT et le gros œuvre béton**



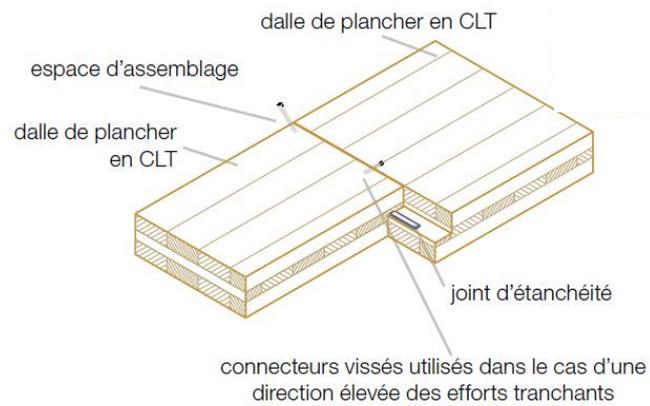
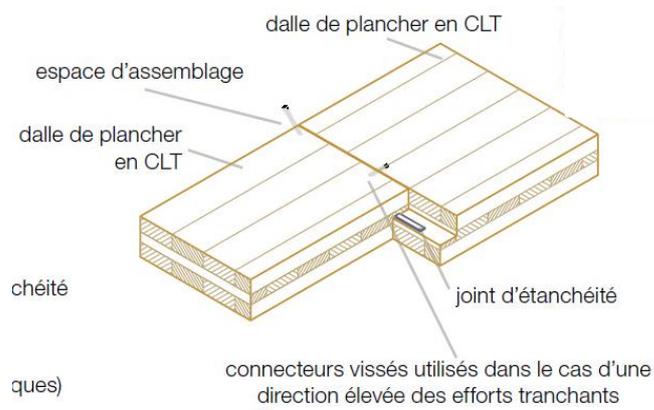
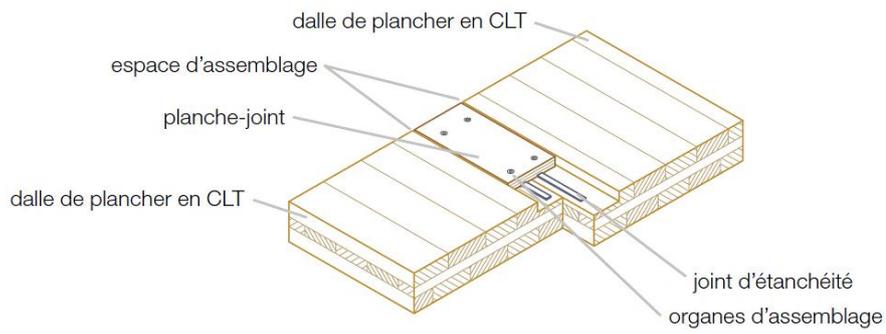
**Figure 23 : Exemple de plancher bas en CLT sur muret en maçonnerie**



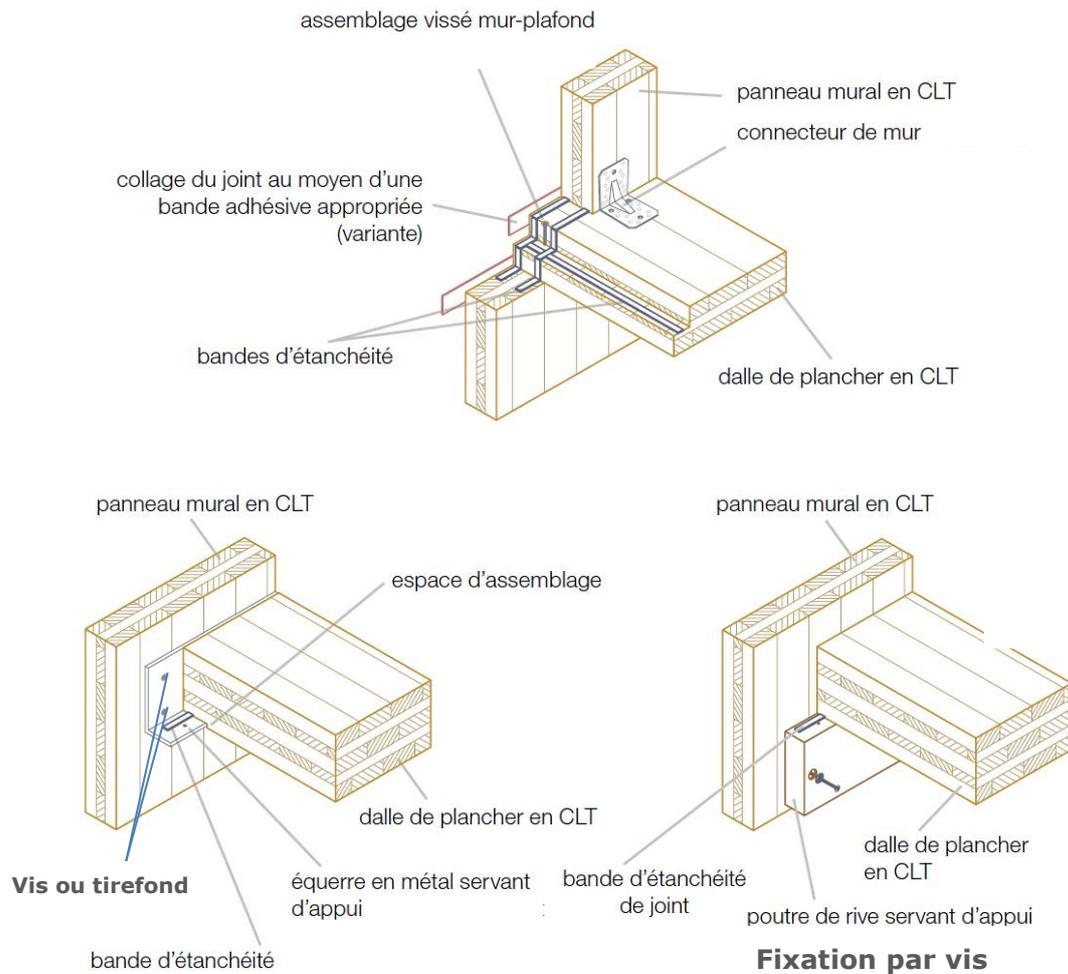
**Figure 24 : Exemples de liaison entre 2 panneaux muraux en CLT adjacents dans le même plan**



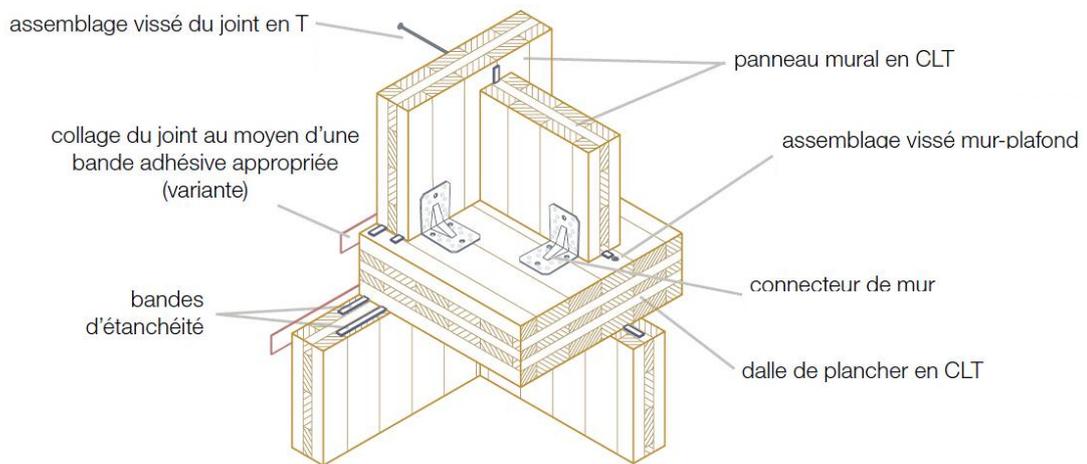
**Figure 25 : Exemples de liaison entre 2 panneaux muraux en CLT superposés dans le même plan**



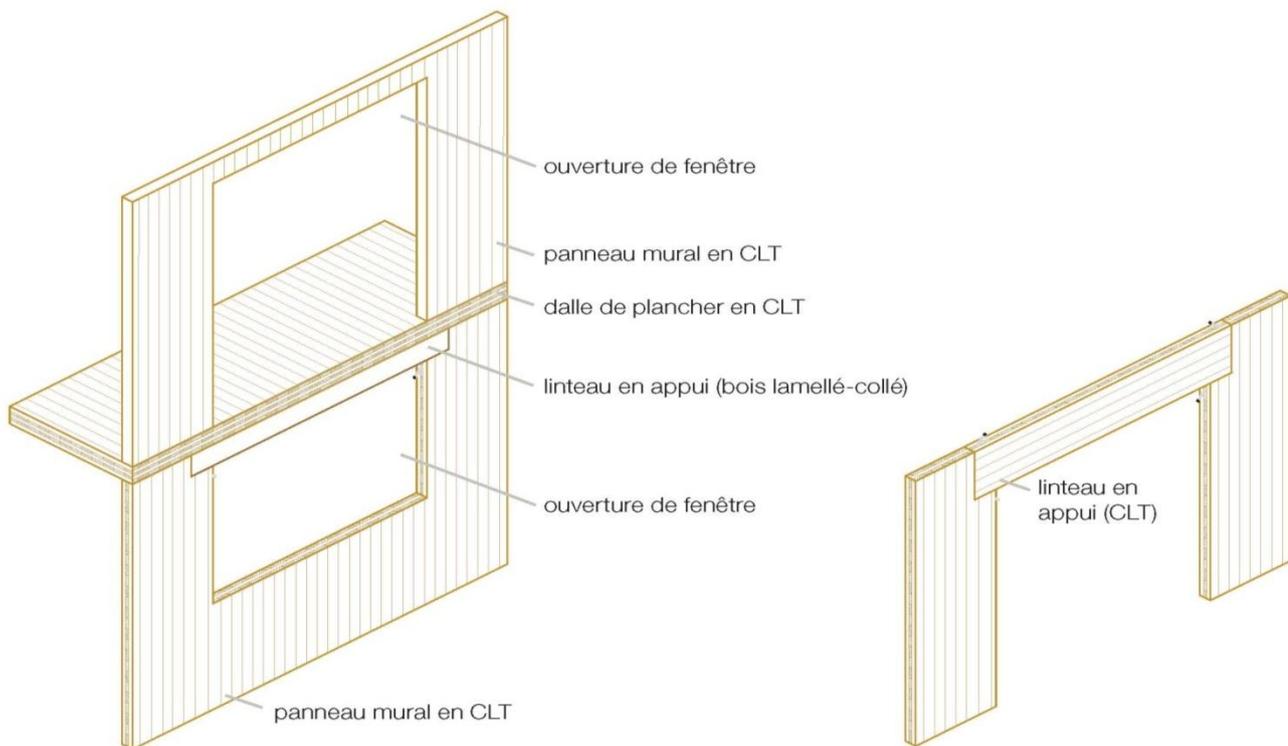
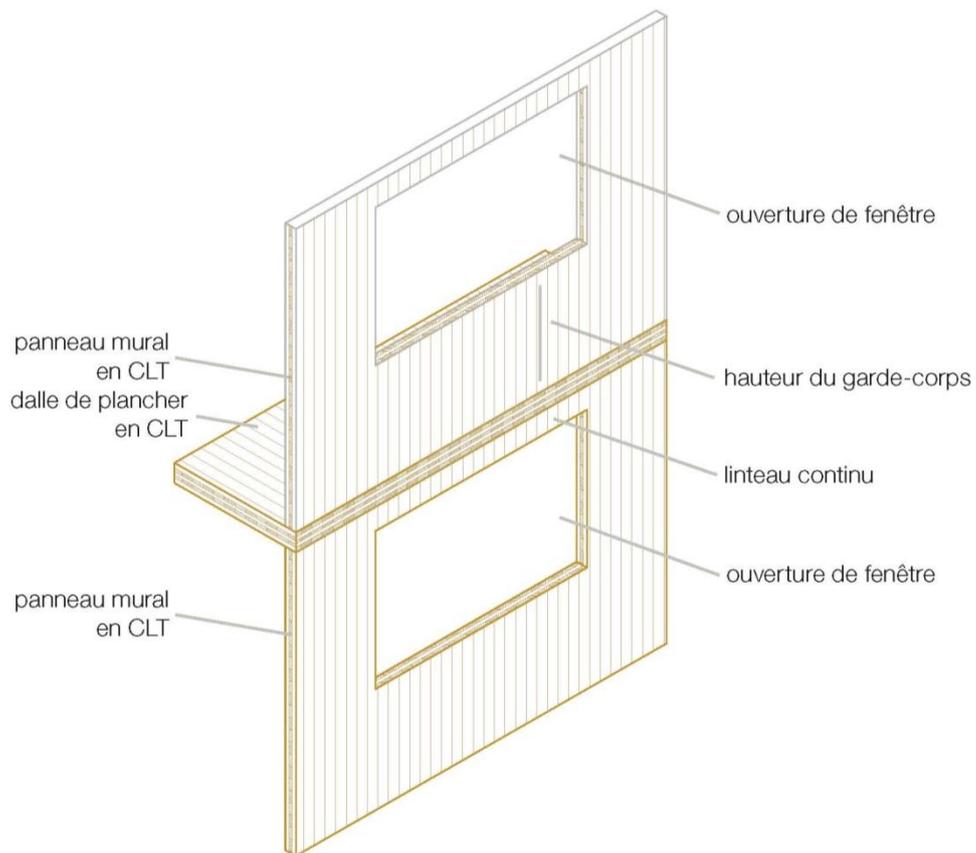
**Figure 26 : Exemples de liaison entre 2 panneaux de plancher CLT adjacents dans le même plan**



**Figure 27 : Exemples de liaison plancher – mur extérieur en panneaux CLT**

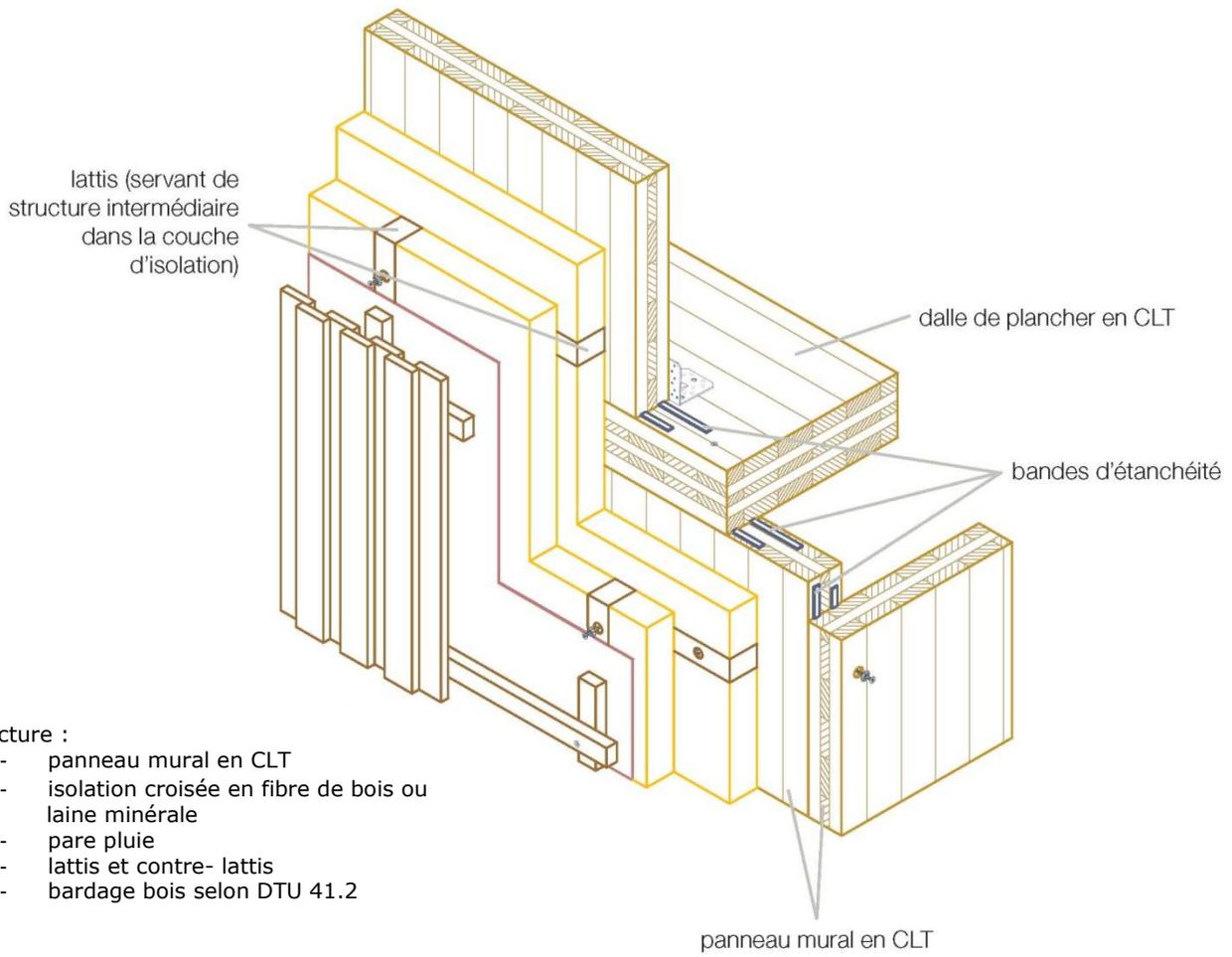


**Figure 28 : Exemples de liaison paroi étage étage inférieur – plancher – paroi étage supérieur**



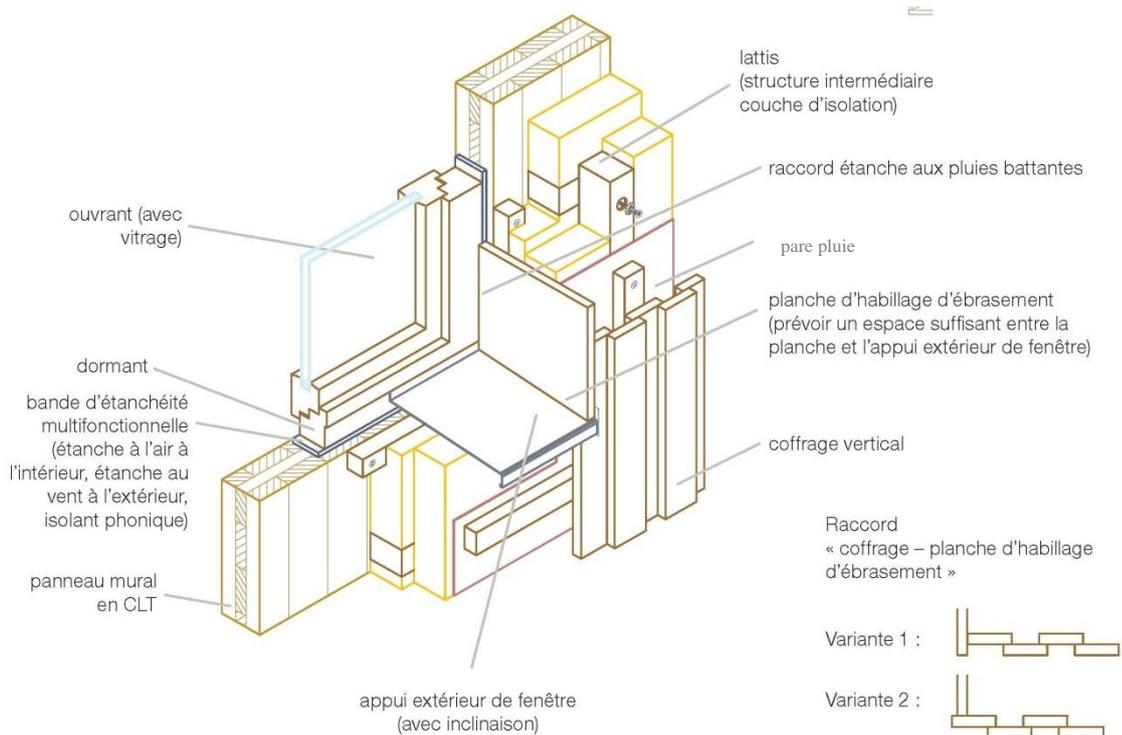
**Figure 29 : Exemples de linteau (en appui aux extrémités –continu dans la matière)**



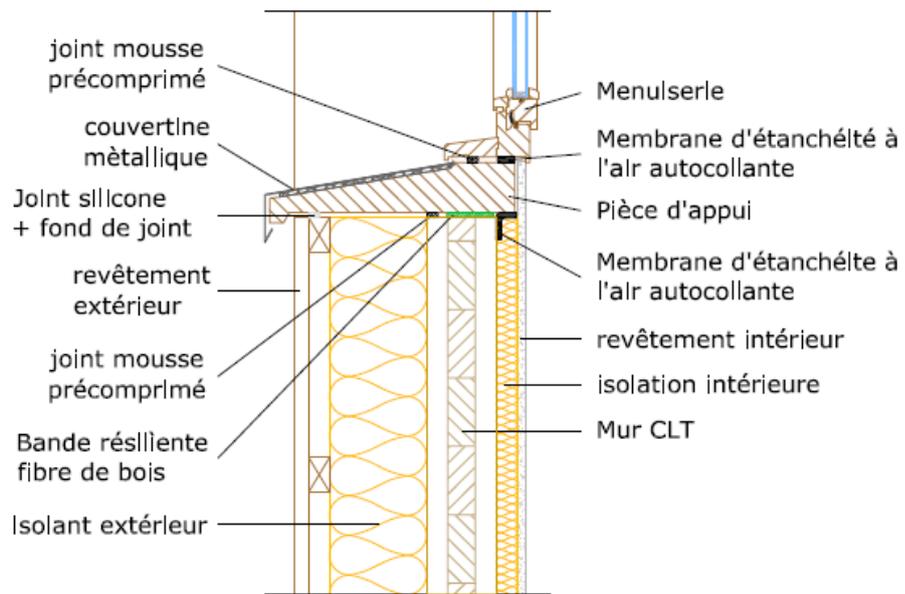


Structure :

- panneau mural en CLT
- isolation croisée en fibre de bois ou laine minérale
- pare pluie
- lattes et contre-lattes
- bardage bois selon DTU 41.2



**Figure 31 : Exemples de parois CLT avec isolation extérieure et liaison avec la menuiserie extérieure**



**Figure 32 : Coupe verticale – Exemple de liaison avec la menuiserie extérieure**