

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 2818_V1

ATEx de cas a

Validité du 06/07/2020 au 06/07/2022



Copyright : Société NORDIC STRUCTURES

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. *(extrait de l'art. 24)*

A LA DEMANDE DE :

NORDIC STRUCTURES

100-1100, avenue des Canadiens-de-Montréal, Montréal, Québec H3B 2S2 Canada

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de sur le procédé de panneaux bois lamellés croisés NORDIC XLAM.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 06/07/2020, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : NORDIC STRUCTURES, 100-1100, avenue des Canadiens-de-Montréal, Montréal, Québec H3B 2S2 Canada
- Technique objet de l'expérimentation :
 - Procédé de panneaux en bois lamellés croisés utilisés en murs, planchers et support d'étanchéité.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 2818_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au 06 juillet 2022, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations et attendus formulés au §4.

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Les panneaux NORDIC XLAM sont constitués d'un empilement de 3 à 9 plis croisés à 90°, collés entre eux sur toute leur surface.

Les plis sont constitués de planches en bois massif abouté S-P-F 1950fb-1,7E MSR dans le sens longitudinal et des planches de bois massif S-P-F No.3/Stud dans le sens transverse au sens de la norme Canadienne SPS 2. La correspondance entre cette norme et la norme Européenne, NF EN 338, est donnée par la première, dans le tableau 17 : la classe 1950fb-1,7E correspond alors à la classe de résistance C27 selon la norme NF EN 338. Les planches S-P-F No.3/Stud correspondent quant à elles à une classe C23 selon la norme NF EN 338. Les plis sont collés sous une presse hydraulique par une colle polyuréthane de type I selon la norme NF EN 15425. Les panneaux ont des dimensions allant jusqu'à 2,74 m de largeur, une longueur jusqu'à 19,50 m et des épaisseurs allant de 89 à 267 mm.

Les panneaux peuvent être utilisés en tant que planchers porteurs entrant dans la composition d'ouvrage et assurant la fonction diaphragme de ces ouvrages, murs ayant ou non une fonction de contreventement et support d'étanchéité.

Le dimensionnement des panneaux NORDIC XLAM est réalisé conformément aux cahiers du CSTB 3802 « Panneaux structuraux massifs bois » et 3814 « Étanchéité de toitures terrasses sur élément porteur en panneaux structural bois ».

La résistance des plans de collage des panneaux est vérifiée dans le cadre du Contrôle de Production en Usine, conformément à la norme NF EN 16351.

1.2 – Sécurité des intervenants

La sécurité des intervenants est considérée comme normalement assurée moyennant l'utilisation des dispositifs de manutention et le respect des prescriptions décrites dans le dossier technique et le cahier du CSTB 3802.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Les règles de sécurité incendie relatives au classement du bâtiment doivent être examinées au cas par cas par les intervenants du chantier, conformément aux textes en vigueur (IT249, bâtiment d'habitation, code du travail, etc...). Un avis de chantier de résistance au feu est à réaliser pour chaque chantier. L'Appréciation de Laboratoire au Feu n°AL20-274 du CSTB peut jouer ce rôle si la configuration du chantier est bien conforme aux conditions précisées dans l'Appréciation de Laboratoire au Feu. L'appréciation de laboratoire n°AL20-274 précise également les conditions dans lesquels ces panneaux peuvent être utilisés lorsque que les bâtiments sont soumis à des exigences de propagation du feu par les façades.

Les panneaux bruts bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2, d0 selon la norme NF EN 13501-1.

Le présent document comporte 54 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Sur la base des éléments fournis par la société NORDIC STRUCTURES et les prescriptions du cahier du CSTB 3802, les panneaux NORDIC XLAM peuvent satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme. Le domaine d'emploi du procédé est limité à une utilisation en France métropolitaine, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Les panneaux font l'objet d'un autocontrôle lors de leur fabrication portant notamment sur la conformité des matériaux, l'humidité du bois au moment du collage, ainsi que des vérifications sur produits finis (résistance au cisaillement des joints de collage). Le Plan d'Assurance Qualité de l'usine de fabrication a été fourni par le demandeur.

La fabrication des panneaux fait également l'objet d'un suivi externe par le FCBA sur la base de la norme NF EN 16351.

2.2 – Mise en œuvre

La mise en œuvre des panneaux NORDIC XLAM relève de techniques usuellement pratiquées et est décrite dans le cahier du CSTB 3802.

2.3 – Assistance technique

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

3°) Risques de désordres

Les panneaux NORDIC STRUCTURES ne présentent pas de facteurs de risque aggravant par rapport aux autres procédés de la même famille.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- Mener la justification en zone sismique suivant le principe faiblement dissipatif (DCL avec $q = 1,5$) dès lors que l'une des parois contreventantes de l'ouvrage n'est composée que d'un seul panneau NORDIC XLAM. Dans le cas de panneaux assemblés, il est possible d'utiliser le principe de dimensionnement en comportement de structure dissipative (DCM avec $q = 2,0$) ;
- Fournir avec les panneaux traités un certificat de traitement conforme à la norme NF B 50-105-3 ;
- Réaliser un contrôle de l'humidité des panneaux NORDIC XLAM systématiquement lors de leur mise en œuvre et de mettre en place un contrôle supplémentaire dans le cas où les panneaux ont été exposés accidentellement aux intempéries.

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

Conclusion FAVORABLE

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est probable,
- Les désordres sont minimes

Champs sur Marne,
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société NORDIC STRUCTURES, 100-1100, avenue des Canadiens-de-Montréal, Montréal, Québec H3B 2S2 Canada

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Les panneaux NORDIC XLAM sont des panneaux de grandes dimensions constitués de planches en bois massif, empilées en plis croisés à 90° sur 3 à 9 plis et collées entre elles sur toute leur surface. Les panneaux sont fabriqués en largeur maximum de 2,74 m, et en longueur maximum de 19,50 m.

Les panneaux sont destinés à la réalisation de planchers et de murs porteurs à fonction de contreventement. Ils peuvent indifféremment être associés entre eux au sein d'un même bâtiment ou utilisés pour plusieurs des fonctions visées, en association avec des éléments de structure autres. Ils peuvent également être supports d'étanchéité et éléments porteurs de complexes d'étanchéité.

Le procédé vise les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1^{ère} à la 3^{ème} famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve.

Le domaine d'emploi est limité à la réalisation de bâtiments dont le plancher bas du niveau le plus haut est situé à 28 m au plus.

Les panneaux NORDIC XLAM 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 à 2 au sens de la norme NF EN 335.

Pour les murs, planchers et support d'étanchéité, l'Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

La mise en œuvre d'un système d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant sur les panneaux doit faire l'objet d'une évaluation (Avis Technique ou ATEX) 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 au sens de Cahier du CSTB n°3567, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$, avec :

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

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, D1 au sens de la norme NF EN 1991-1-1.

Le dimensionnement et la mise en œuvre des panneaux NORDIC XLAM sont réalisés conformément aux cahiers du CSTB 3802 « Panneaux structuraux massifs bois » et 3814 « Étanchéité de toitures terrasses sur élément porteur en panneaux structural bois ».

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEX 2818_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 49 pages.

Procédé de panneaux bois lamellés croisés NORDIC XLAM

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 31 Juillet 2020

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 2818_V1

Appréciation Technique d'Expérimentation de type A

NORDIC X-LAM CLT

Panneaux structuraux
en bois contrecollé-croisé

Titulaire : Nordic Structures
100-1100, avenue des Canadiens-de-Montréal
Montréal (Québec) H3B 2S2
Canada

Tél. : +1 514 871-8526
Email : info@nordic.ca
Internet : nordic.ca

31 juillet 2020

Dossier Technique établi par le demandeur

A. Description

1. Principe

Les panneaux structuraux en bois contrecollé-croisé NORDIC X-LAM CLT sont des panneaux CLT (Cross-Laminated Timber) de grandes dimensions, constitués de planches en bois massif avec ou sans aboutages à entures multiples.

Les classes de résistance du bois massif utilisé pour la fabrication des panneaux sont S-P-F MSR 1950Fb-1,7E et S-P-F n°3/Stud pour les plis longitudinaux et transversaux, respectivement.

Les planches sont empilées en couches, de 3 à 9 plis, majoritairement croisées à 90° et collées entre elles sur toutes leurs surfaces, excepté sur leurs chants. Les panneaux ont des dimensions de 89 mm à 267 mm en épaisseur, jusqu'à 2,74 m en largeur et 19,5 m en longueur.

(Voir figure 1.1 – Structure typique d'un panneau structural en bois contrecollé-croisé.)

2. Domaine d'emploi

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont destinés à la réalisation de planchers et de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement.

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont destinés à la réalisation des ouvrages de structure cités ci-dessus pour des bâtiments à usage d'habitation de la 1^{ère} à la 3^e famille, Établissements Recevant du Public (ERP), bâtiments de bureaux ou industriels. Ils peuvent par ailleurs être utilisés pour la réalisation de travaux de rénovation et de surélévation.

Le procédé est limité aux immeubles dont le plancher de l'étage le plus haut est situé à 28 m au plus du niveau du sol.

Le domaine d'emploi n'est pas applicable à la réalisation des Immeubles de Grande Hauteur (IGH).

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM 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.

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT peuvent être utilisés en zone sismique.

Les utilisations sont limitées à la France Métropolitaine, soit aux zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

Le domaine d'emploi 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 $W/n > 5 \text{ g/m}^2$, avec :

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

Les panneaux trois plis ne permettent pas d'assurer une étanchéité à l'air.

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.

La reprise des cloisons maçonnées ou fragiles est exclue du domaine d'emploi. 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.

Éléments porteurs de toiture :

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT de classe d'emploi 2 selon la norme NF EN 350 sont utilisés comme supports ou éléments porteurs des toitures étanchées selon le e-Cahier 3814 du CSTB.

3. Description des matériaux

3.1 Planches en bois

3.1.1 Types d'essences utilisées

Les planches en bois massif utilisées pour la réalisation des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont du groupe d'essences épinette (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), pin (*Pinus banksiana* Lamb.), sapin (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et certifiées FSC (Forest Stewardship Council).

En outre, ce groupe d'essences, identifié épinette-pin-sapin (Spruce-Pine-Fir ou S-P-F), satisfait aux conditions de la classe de service 2 selon la norme NF EN 1995-1-1.

3.1.2 Caractéristiques géométriques

Les planches utilisées peuvent avoir une épaisseur de 19 ou 35 mm et une largeur de 89 mm.

La longueur des planches correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci. Les planches de longueur plus courte sont donc obligatoirement aboutées (plis longitudinaux).

Au moment du collage des planches, la variation en épaisseur sur la largeur d'une planche ne doit pas dépasser 0,20 mm.

Les caractéristiques sont données pour un taux d'humidité compris entre 9 et 15%.

(Voir tableau 3.1 – Dimensions et caractéristiques des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.)

3.1.3 Caractéristiques mécaniques

Les planches utilisées sont classées visuellement ou par machine (Machine-Stress Rated ou MSR), conformément aux normes Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien ou SPS 2, Norme de produits spéciaux pour le bois classé par machine, respectivement, par la Commission nationale de classification des sciages. Les classes de résistance sont déclarées dans la norme CSA O86, Règles de calcul des charpentes en bois, par le Groupe CSA.

Les combinaisons usuelles sont :

- Planches des plis longitudinaux (longues) : S-P-F MSR 1950Fb-1,7E ;
- Planches des plis transversaux (courtes) : S-P-F n°3/Stud.

Chaque pli est réalisé à partir de matériaux correspondant à une même classe de résistance.

Il est possible de mélanger des planches d'essences différentes dans un même pli étant donné que les caractéristiques physiques et particulièrement de variations dimensionnelles (retrait, gonflement) de l'épinette, du pin et du sapin sont similaires.

(Voir tableau 3.2 – Propriétés mécaniques des planches de bois des panneaux NORDIC X-LAM CLT.)

3.1.4 Aboutages

Les planches de bois utilisées pour les plis longitudinaux sont aboutées selon les exigences de la norme SPS 4, Norme de produits spéciaux pour le bois jointé classifié par machine, par la Commission nationale de classification des sciages.

3.2 Colles

Les colles utilisées pour la production des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont conformes à la norme NF EN 15425.

Les colles utilisées pour la production (encollage des aboutages et des surfaces) sont de type I selon la norme NF EN 15425, ce qui permet un usage

structural des panneaux en intérieur et en extérieur pour les classes de service 1 et 2 suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les colles utilisées pour la production des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT ne contiennent pas de formaldéhyde.

3.21 Colle pour l'aboutage des planches

La colle Loctite/Purbond de la gamme HB S de la société HENKEL est utilisée pour l'aboutage des planches unitaires longitudinales, réalisé par joints à entures multiples. Cette colle est formulée à base de polymères d'uréthane (adhésif polyuréthane mono-composant ou PUR).

3.22 Colle pour l'assemblage des plis entre eux

La colle Loctite/Purbond de la gamme HB S de la société HENKEL est utilisée pour l'assemblage des plis entre eux. Cette colle est formulée à base de polymères d'uréthane (adhésif polyuréthane mono-composant ou PUR).

3.3 Produits de préservation

Conformément à l'arrêté du 27 juin 2006, les panneaux structuraux massifs bois qui participent à la solidité des bâtiments devront être naturellement durables ou avoir une durabilité conférée (traitement de préservation) 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 application de l'article L.133-5 du code de la construction et de l'habitation.

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du panneau structural massif bois 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 en respectant les dispositions de la NF EN 15228. Lorsqu'effectué en usine, une attestation de traitement de préservation du bois conforme à l'Annexe A de la norme NF B50-105-3 sera fournie avec les panneaux traités.

4. Description des panneaux

4.1 Caractéristiques géométriques

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont disponibles dans des dimensions de 89 mm à 267 mm en épaisseur, jusqu'à 2,74 m en largeur et 19,5 m en longueur. Les panneaux fabriqués sont ensuite découpés et usinés en fonction des besoins du chantier.

Les panneaux NORDIC X-LAM CLT sont constitués de plis faits avec planches en bois massif avec ou sans aboutages à entures multiples. Les plis sont ensuite empilés majoritairement croisés à 90° et assemblés par collage sur leurs surfaces. Il n'y a pas de collage de chant des planches entre elles.

Le nombre de plis est impair en standard mais des compositions spéciales restent possibles (hors standard). La configuration des plis du panneau est symétrique (géométriquement et mécaniquement) par rapport au pli central. Les plis extérieurs des deux surfaces opposées des panneaux sont orientés dans la même direction.

Les joints (espaces) entre planches longitudinales n'excèdent pas 2,0 mm et 6,0 mm entre les planches transversales.

L'épaisseur des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT dépend du nombre de plis et des combinaisons possibles entre les différentes épaisseurs de

planches. L'épaisseur des panneaux standards varie de 89 mm à 267 mm.

Le nombre de plis des panneaux NORDIC X-LAM CLT varie de 3 à 9, inclusivement. Le nombre de plis consécutifs maximum possédant le même sens de fil c'est-à-dire orientés dans la même direction :

- 1 lorsque $n \leq 5$
- ≤ 2 lorsque $n > 5$

On distingue deux catégories de panneaux NORDIC X-LAM CLT selon la composition des panneaux :

- Panneaux de type s « standard » lorsque tous les plis adjacents d'un panneau sont perpendiculaires ;
- Panneaux de type l « longitudinal » lorsque les plis extérieurs parallèles vis-à-vis de la grande longueur du panneau sont doubles.

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT peuvent être réalisés en deux qualités de finition : surface non visible (industriel) et surface visible (architectural). Quelle que soit la finition, les panneaux sont livrés avec une surface poncée, ou deux surfaces poncées sur demande.

(Voir tableau 4.1 – Structure des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.)

4.2 Caractéristiques mécaniques

4.2.1 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont déterminées en suivant les principes de la norme NF EN 16351.

Les propriétés mécaniques nécessaires au dimensionnement des panneaux sont listées au tableau 4.2 – Caractéristiques géométriques des panneaux NORDIC X-LAM CLT et au tableau 4.3 Résistances caractéristiques des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

4.2.2 Coefficient partiel sur les matériaux Y_M

Les coefficients Y_M des matériaux à base de bois sont définis dans l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1995-1-1. Dans le cas des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT, en l'absence d'un coefficient Y_M spécifiquement défini pour cette famille de produits, la valeur de $Y_M = 1,25$ telle que recommandée par le projet de révision de la norme NF EN 1995-1-1 est utilisée.

Pour les vérifications accidentelles : $Y_M = 1,0$.

4.2.3 Coefficient de modification K_{mod}

On tient compte du comportement des panneaux structuraux massifs bois vis-à-vis de l'humidité et de la durée de chargement par l'application de coefficients K_{mod} tels que spécifiés dans la norme NF EN 1995-1-1 pour le bois lamellé-collé, le cas échéant différenciés selon l'effort vérifié.

4.2.4 Coefficient de déformation K_{def}

On tient compte du comportement des panneaux structuraux massifs bois vis-à-vis du fluage par l'application de coefficients K_{def} tels que spécifiés dans la norme NF EN 1995-1-1 pour le contreplaqué, le cas échéant différenciés selon la fraction de la déformation calculée.

4.3 Caractéristiques physiques

4.3.1 Masse volumique

Les masses volumiques à prendre en compte pour le NORDIC X-LAM CLT sont $\rho_k = 360 \text{ kg/m}^3$ et $\rho_{mean} = 430 \text{ kg/m}^3$ (selon la norme NF EN 338).

Pour le transport et le levage il est conseillé de prendre une masse volumique de 550 kg/m^3 .

4.3.2 Variations dimensionnelles

- Variation dimensionnelle dans le plan du panneau : 0,01% pour 1% de variation d'humidité du bois.

- Variation dimensionnelle perpendiculaire au plan (dans l'épaisseur) du panneau : 0,2% pour 1% de variation d'humidité du bois.

4.33 Capacité calorifique massique

- Capacité calorifique massique :

$$C_p = 1,60 \text{ kJ/kg.K}$$

4.34 Coefficient de conductivité thermique

- Coefficient de conductivité thermique :

$$\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$$

4.35 Facteur de résistance à la vapeur d'eau

- Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau humide :

$$\mu_{\text{humide}} = 20 \text{ g/m.h.mm Hg}$$

- Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau sec :

$$\mu_{\text{sec}} = 50 \text{ g/m.h.mm Hg}$$

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du panneau NORDIC X-LAM CLT exposée au climat intérieur (entre le panneau et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de Sd (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.

5. Fabrication et contrôle

5.1 Fabrication des panneaux

La fabrication des panneaux NORDIC X-LAM CLT est effectuée exclusivement à l'usine Nordic Structures / Chantiers Chibougamau au 521, chemin Merrill à Chibougamau (Québec), Canada.

Le processus de fabrication des panneaux NORDIC X-LAM CLT comporte les étapes suivantes :

- Stockage des planches destinées à la fabrication des panneaux à un taux d'humidité de $12 \pm 3\%$;
- Classification des planches mécaniquement ou visuellement, et vérification du taux d'humidité ;
- Rabotage des planches constituant les plis transversaux (courtes), coupe à longueur, et empilage en paquets ;
- Aboutage des planches constituant les plis longitudinaux (longues), rabotage, coupe à longueur, et empilage en paquets ;
- Transfert des planches (par pli) ;
- Encollage par aspersion automatique ; l'encollage se fait par déplacement le long du pli d'un portique automatique à vitesse constante qui dépose la quantité suffisante de colle ;
- Empilage des plis pour constituer le panneau ;
- Serrage latéral pour réduire le jeu entre les planches longitudinales ;
- Pressage des plis constituant le panneau CLT dans une presse hydraulique ; la pression et le temps varient en fonction des compositions ;
- Ponçage des panneaux CLT ; une surface des panneaux CLT est poncée, ou deux sur demande ;
- Découpe et usinage des panneaux CLT à la demande par une machine-outil à commande numérique ;
- Traitement de préservation, le cas échéant ;
- Marquage ou étiquetage conformément aux spécifications du § 5.2 ;
- Stockage et expédition.

Les tolérances dimensionnelles autorisées au moment de la fabrication sont les suivantes :

- Épaisseur du panneau : $\pm 1,6 \text{ mm}$ ou 2% de l'épaisseur, selon la valeur la plus élevée ;

- Largeur du panneau : $\pm 3,2 \text{ mm}$;
- Longueur du panneau : $\pm 6,4 \text{ mm}$.

5.2 Identification des panneaux

En sortie de chaîne de fabrication et après les contrôles exécutés, les panneaux NORDIC X-LAM CLT sont étiquetés avec les informations prévues par la norme NF EN 16351 (11/2015) :

- Le logo NORDIC X-LAM ;
- La référence de l'ATEX ;
- Les caractéristiques du panneau (qualité, nombre de plis, épaisseur) ;
- La référence de la commande (le numéro de fabrication) ;
- Le type d'adhésif : PUR.

5.3 Contrôle de fabrication

La fabrication des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT est soumise d'une part à une procédure de contrôle interne en usine, d'autre part à un contrôle externe assuré par l'organisme notifié l'institut technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement).

Le type de contrôle ainsi que leurs fréquences sont définis dans la norme NF EN 16351 (11/2015).

5.3.1 Contrôle interne

Le contrôle interne est assuré tout au long du processus de fabrication. Les contrôles prévus par la norme NF EN 16351 (11/2015) sont présentés ci-dessous :

Propriétés de résistance et de rigidité du bois

Le bois est classé visuellement ou mécaniquement (Machine-Stress Rated ou MSR), conformément aux normes Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien ou SPS 2, Norme de produits spéciaux pour le bois classé par machine, respectivement, par la Commission nationale de classification des sciages.

La qualité du bois est contrôlée (dimension et humidité) ainsi que l'essence. Chaque planche est contrôlée en humidité et les défauts structuraux éventuels sont purgés.

L'épaisseur des planches qui constituent le CLT est vérifiée assez souvent pour assurer une conformité constante mais pas moins d'une fois par jour.

Pour valider la résistance du bois massif, à chaque poste et quart de travail, quatre pièces de bois de chaque classe produite sont sélectionnées au hasard (soit un à chaque deux heures de travail) et font l'objet d'un essai de résistance en traction selon les principes de la norme NF EN 16351 (11/2015).

Résistance du collage des aboutages à entures multiples dans le bois

Pour valider la résistance des aboutages, à chaque poste et quart de travail, quatre échantillons de chaque classe produite sont sélectionnés au hasard (soit un à chaque deux heures de travail) et font l'objet d'un essai de résistance en traction selon les principes de l'Annexe E de la norme NF EN 16351 (11/2015). Ce test permet en outre de valider la résistance du collage de l'aboutage.

Résistance du collage des joints de collage entre les plis

Nordic Structures contrôle ce point par essais de délamination des joints de collage entre les plis selon les principes du protocole décrit dans l'annexe C de la norme NF EN 16351 (11/2015). La fréquence est de un spécimen par panneau jusqu'à quatre spécimens par quart de travail.

Nordic Structures contrôle également ce point par essais de cisaillement selon les principes du protocole décrit dans l'annexe D de la norme NF EN 16351 (11/2015). La fréquence est de un spécimen par panneau jusqu'à deux spécimens par quart de travail.

Résistance et réaction au feu

Les conformités des données géométriques, de masse volumique, de l'essence et des propriétés mécaniques des planches constituant le CLT permet d'assurer les propriétés de résistance et de réaction au feu. Les contrôles réalisés par Nordic Structures permettent de répondre à ces exigences.

Stabilité dimensionnelle

Le contrôle à la réception de l'essence de bois permet d'assurer ce paramètre.

Dégagement/teneur en substances dangereuses

Le contrôle à la réception du type de colle permet d'assurer ce paramètre.

Durabilité de la résistance du collage

Le contrôle à la réception de l'essence de bois et du type de colle permet d'assurer ce paramètre.

La teneur en humidité du bois est mesurée pour chaque planche et doit être comprise entre 9% et 15%. La teneur en humidité entre deux planches à assembler au moment de l'aboutage ne doit pas varier de plus de 5%.

Par ailleurs, Nordic Structures assure un contrôle permanent des différents paramètres conditionnant la réalisation d'un collage fiable :

- Aboutages : vérification du rapport de mélange des adhésifs, inspection de l'encollage et vérification de la pression de collage ;
- Conditions de pressage : mesure de l'étalement de l'adhésif, vérification de la pression et de la température de collage ;
- Contrôle visuel : dimensions des panneaux, dimensions et positionnement des usinages, traitement le cas échéant, aspect visuel.

La documentation, les procédures et les instructions concernant le processus de fabrication des produits sont décrites dans le manuel qualité de l'usine. Pour les procédés de collage, les informations enregistrées sont comme indiqué dans la norme NF EN 16351 (11/2015).

Toute la documentation est enregistrée de telle sorte que les matières premières et les conditions de fabrication des produits sont reliées à la date de fabrication. La documentation relative aux différents essais est conservée séparément. Toute la documentation est conservée pendant au moins 10 ans.

5.32 Contrôle externe

Le contrôle externe est réalisé à raison de deux audits par an par l'organisme notifié l'institut technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement).

Le contrôle porte sur la production, l'autocontrôle réalisé et sur des échantillons prélevés pour la réalisation d'essais au sein de leurs laboratoires.

Ce contrôle porte sur :

- L'examen du respect des dispositions prises par Nordic Structures pour assurer la conformité de ses fabrications (vérification du contrôle interne) ;
- La réalisation d'un examen détaillé du processus de production, depuis les matières premières jusqu'aux produits finis (panneaux découpés), y compris le respect de tout le paramétrage de collage.

6. Dimensionnement

6.1 Généralités

6.1.1 Principe

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT peuvent être soumis à un chargement dans leur plan

(charge verticale d'un mur, linteau, diaphragme) et/ou hors plan (plancher, vent normal).

Le dimensionnement s'effectue selon les principes de la NF EN 1995-1-1 en tenant compte des dispositions spécifiques du présent document.

La modélisation de l'élément en panneau structural NORDIC X-LAM CLT doit prendre en compte notamment :

- l'influence de la composition du panneau (épaisseur, matériau et orientation des plis), des joints entre chants, des éventuelles rainures sur les propriétés mécaniques du panneau ;
- l'influence de la distribution des charges, du système statique et de la composition du panneau sur la distribution des contraintes et les déformations ;
- l'effet de concentrations de contraintes localisées (p.ex. résistance sur appui, assemblages, charges concentrées, etc.) ;
- l'effet des ouvertures et trémies ;
- le cas échéant les contraintes internes (p.ex. la torsion des plans de collage), le cisaillement de bloc des assemblages.

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

La méthode du présent document s'appuie sur les principes suivants :

- les plis transversaux fonctionnent comme des liaisons entre les plis longitudinaux dont la raideur de glissement est prise en compte en généralisant la méthode des γ de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 ;
- la distribution des contraintes et les déformations peuvent alors être déterminées à partir de la rigidité efficace en flexion tenant compte de cette raideur de glissement ;
- le module d'élasticité perpendiculaire au fil du bois (d'une lame ou d'un pli) doit être considéré comme nul, $E_{90,mean,i} = 0$;
- il en résulte que les contraintes de flexion ne sont considérées que pour les plis dont les lames sont orientées dans la même direction que le fil du bois des couches considérées ;
- de même les contraintes normales induites par l'effet des actions agissant dans le plan du panneau sont calculées en négligeant des plis orientés perpendiculairement à ces actions ;
- on calcule alors la contrainte normale en utilisant la section nette des plis mobilisables et l'inertie effective des panneaux.

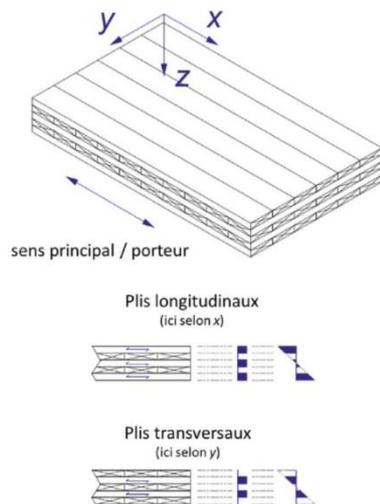


Figure 6.1 – Définition des directions porteuses sous sollicitation hors plan (perpendiculaire au panneau)

Pour le dimensionnement des panneaux soumis à un chargement hors plan, il est possible de prendre comme modèle des éléments de 1 m de large auxquels on applique la théorie des poutres.

Les éléments sont alors 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.

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes) notamment dans les configurations suivantes :

- trémies ;
- porte-à-faux ;
- panneau effectivement appuyé sur plus de deux côtés (les appuis pouvant être continus ou ponctuels).

Compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents au moyen des assemblages courants (cf. § 10.23), les planchers composés de plusieurs panneaux adjacents doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur quatre côtés.

Lorsque les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT utilisés comme planchers porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. § 6.48).

Lorsque les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT utilisés comme mur sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant linteau et appuis doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. § 6.66).

Le dimensionnement aux ELU est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges définis au § 4.23, ainsi que le coefficient partiel sur les matériaux γ_M défini au § 4.22.

Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} défini au § 4.24.

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.

6.12 Charges

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

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

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

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

- Charge permanente initiale G_0 : la fraction des charges permanentes induites par le poids propre de la structure porteuse primaire, ainsi que par le poids propre des éléments présents avant les éléments de second-œuvre.
- Charge permanente de second-œuvre G_2 : la fraction des charges permanentes induites par le poids propre des éléments de second-œuvre (plafond, revêtement de sol).

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

6.13 Réduction des charges contribuant à l'effort tranchant aux appuis

Les dispositions du § 6.1.7(3) de la NF EN 1995-1-1/A1 ne s'appliquent pas.

6.14 Facteur d'effet de système k_{sys}

Le facteur d'effet de système k_{sys} de la NF EN 1995-1-1 ne s'applique pas ($k_{sys} = 1$).

6.15 Facteur de correction de la résistance au cisaillement du bois k_{cr}

Le facteur k_{cr} est déjà pris en compte dans la détermination des propriétés des panneaux NORDIC X-LAM CLT. En outre, le risque de fissures des plis longitudinaux extérieurs (surface du panneau) sont limités par la contribution des plis transversaux adjacents, du fait de l'assemblage collé.

Par conséquent, le facteur k_{cr} de la NF EN 1995-1-1 ne s'applique pas aux panneaux NORDIC X-LAM CLT ($k_{cr} = 1,0$).

6.16 Configurations de chargement

Dans le cas de portées multiples, par application du principe de mobilité des charges variables (exploitation, neige, vent) dans le but de déterminer les configurations les plus défavorables, on vérifie notamment les configurations de chargement suivantes :

- pour deux portées et plus :
 - chargement alterné des portées paires ;
 - chargement alterné des portées impaires.
- pour trois portées et plus :
 - chargement adjacent des portées 1 / 2, 5/6, etc. ;
 - chargement adjacent des portées 2/3, 6/7, etc. ;
 - chargement adjacent des portées 3/4, 7/8, etc. ;
 - chargement adjacent des portées 1, 4/5, etc.

Dans tous les cas, il est de la responsabilité du concepteur de définir et vérifier l'ensemble des

configurations de chargement applicables dans les conditions du projet.

Un porte-à-faux doit être considéré comme une portée au regard de l'ensemble des configurations décrites précédemment.

Ces configurations de chargement sont vérifiées aux ELU et aux ELS.

6.17 Vérifications à l'ELU instantané

Certaines vérifications diffèrent selon l'application (mur ou plancher) et sont par conséquent précisées :

- au § 6.4 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher ;
- au § 6.6 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de mur.

Notamment, le cisaillement et la compression transversale sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon les principes énoncés respectivement dans le § 6.42 et le § 6.44.

6.18 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.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + \Psi_2 \cdot k_{def}}$$

$$G_{r,mean,fin} = \frac{G_{r,mean}}{1 + \Psi_2 \cdot k_{def}}$$

$$G_{xy,mean,fin} = \frac{G_{xy,mean}}{1 + \Psi_2 \cdot k_{def}}$$

où :

Ψ_2 est défini dans l'Annexe Nationale de la NF EN 1990 ;
 $\Psi_2 = 1,0$ pour les charges permanentes

$G_{r,mean}$ le module de cisaillement roulant moyen du panneau CLT

$G_{xy,mean}$ le module de cisaillement moyen du panneau CLT

6.19 Vérifications ELS

Caractéristiques mécaniques ELS Instantané (charge à court terme - instantanées)

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au § 6.21.

Caractéristiques mécaniques ELS 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.

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

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

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

où :

$G_{r,mean}$ le module de cisaillement roulant moyen du panneau CLT

$G_{xy,mean}$ le module de cisaillement moyen du panneau CLT

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 et d'autre part la flèche générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du panneau.

Les vérifications des flèches dépendent de l'application (mur ou plancher) et sont par conséquent précisées :

- au § 6.46 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher ;
- au § 6.65 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de mur.

Vérification du critère vibratoire

Cette vérification est traitée au § 6.47.

6.110 Calcul des déformations

En application de ce qui précède, les vérifications des flèches doivent être menées en considérant d'une part la déformation générée par le moment fléchissant en considérant la rigidité efficace du panneau structural NORDIC X-LAM CLT et d'autre part la déformation générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du panneau.

Dans ce qui suit on notera :

$w_{(Q),m}$ déformation due à la flexion instantanée sous la charge [Q]

$w_{(Q),v}$ déformation due au tranchant instantané sous charge [Q]

k_{def} coefficient de fluage du panneau

$\Psi_{0,[Q]}$ coefficient partiel de combinaison caractéristique de la charge [Q] selon NF EN 1990 et son Annexe Nationale

$\Psi_{2,[Q]}$ coefficient partiel de combinaison quasi-permanente de la charge [Q] selon NF EN 1990 et son Annexe Nationale

Pour la charge [Q] on distinguera :

G_0 charge permanente initiale (cf. § 6.12)

G_1 charge permanente de second-œuvre (cf. § 6.12)

$G = G_0 + G_1 =$ charge permanente totale

Q_1 charge variable principale (NF EN 1990)

Q_2 charge variable d'accompagnement (NF EN 1990)

Déformation à long terme – w_{fin} et $w_{net,fin}$

On calcule la déformation totale à long terme w_{fin} comme suit :

$$w_{fin} = (w_{G,m} + w_{G,v}) \cdot (1 + k_{def}) + (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) \cdot (1 + \Psi_{2,Q1} \cdot k_{def}) + (w_{Q2,m} + w_{Q2,v}) \cdot (\Psi_{0,Q2} + \Psi_{2,Q2} \cdot k_{def})$$

Note : Lorsqu'il n'y a pas de contreflèche de fabrication : $w_{net,fin} = w_{fin}$

Déformation instantanée – w_{inst} et $w_{Q,inst}$

On calcule la déformation totale instantanée w_{inst} comme suit :

$$w_{inst} =$$

$$(w_{G,m} + w_{G,v}) + (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) + \Psi_{0,Q2} \cdot (w_{Q2,m} + w_{Q2,v})$$

et la déformation instantanée sous charges variables seule :

$$w_{Q,inst} = (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) + \Psi_{0,Q2} \cdot (w_{Q2,m} + w_{Q2,v})$$

Déformation des éléments de second-œuvre (flèche active) - $w_{d2,fin}$

La « flèche active » des planchers pouvant nuire à l'intégrité des éléments de second-œuvre et notamment des cloisons et revêtements de sols fragiles comporte :

- les déformations instantanées dues aux charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles,
- les déformations différées sous l'action de toutes les charges permanentes y compris le poids propre du plancher et celles mises en œuvre après les éléments fragiles,
- les déformations totales à long terme dues à la part quasi-permanente des charges d'exploitation.

On calcule la déformation totale à long terme sur les éléments de second-œuvre $w_{d2,fin}$ comme suit :

$$w_{d2,fin} =$$

$$(w_{G1,m} + w_{G1,v}) + (w_{G,m} + w_{G,v}) \cdot k_{def}$$

$$+ (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) \cdot (1 + \Psi_{2,Q1} \cdot k_{def})$$

$$+ (w_{Q2,m} + w_{Q2,v}) \cdot (\Psi_{0,Q2} + \Psi_{2,Q2} \cdot k_{def})$$

$$\text{Note: } w_{d2,fin} = w_{fin} - (w_{G0,m} + w_{G0,v})$$

Il convient de porter une attention particulière au séquençage des travaux et notamment au moment de la mise en œuvre des cloisons légères pour la détermination des charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles.

Déformations cumulées

Lors du dimensionnement il convient de porter une attention particulière à l'effet cumulé notamment :

- de la compression transversale sous effet des charges gravitaires ;
- des variations dimensionnelles (tassement, évolution du taux d'humidité en service, etc.) ;
- du fluage et des déformations différentielles.

6.2 Dispositions communes aux ouvrages de plancher et de mur

6.2.1 Calcul de la rigidité efficace

La rigidité efficace est calculée en utilisant la théorie des poutres composites en flexion (méthode des γ) de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 et en tenant compte de la raideur de glissement de cisaillement des plis transversaux agissant comme liaison entre les plis longitudinaux.

À cet effet, on substitue au terme $\frac{K_i}{S_i}$ de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 le terme $\frac{G_{r,i,j} \cdot B}{t_{i,j}}$

où :

$G_{r,i,j}$ module de cisaillement roulant du pli transversal situé entre les plis i et j [N/mm²]

B largeur de l'élément [mm]

$t_{i,j}$ épaisseur du pli transversal situé entre les plis i et j [mm]

Note : On peut prendre comme modèle un élément de largeur $B = B_v = 1 \text{ m}$.

Panneaux de type CLT avec 3 ou 5 plis

Dans le cas de panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT avec 3 respectivement 5 plis, on définit les plis

(numérotation et épaisseurs) comme précisé en Figure 6.2 respectivement en Figure 6.3.

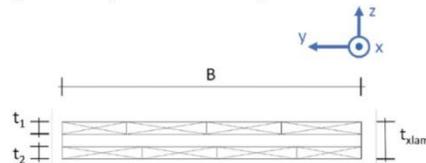


Figure 6.2 – Coupe transversale d'un panneau 3 plis



Figure 6.3 – Coupe transversale d'un panneau 5 plis

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

$$E I_{ef} = E_{fl,at,mean} \cdot I_{ef}$$

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

Avec :

$$A_i = B \cdot t_i$$

$$I_i = \frac{B \cdot t_i^3}{12}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{fl,at,mean} \cdot A_i \cdot \bar{t}_i}{L^2 \cdot G_{r,mean,i} \cdot B} \right]^{-1} \text{ pour } i = 1 \text{ et } i = 3$$

$$a_1 = \left(\frac{t_1}{2} + \bar{t}_1 + \frac{t_2}{2} \right) - a_2$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{t_1}{2} + \bar{t}_1 + \frac{t_2}{2} \right) - \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \left(\frac{t_2}{2} + \bar{t}_2 + \frac{t_3}{2} \right)}{\sum_{i=1}^3 (\gamma_i \cdot A_i)}$$

$$a_3 = \left(\frac{t_2}{2} + \bar{t}_2 + \frac{t_3}{2} \right) + a_2$$

et où :

$E_{fl,at,mean,i}$ module d'élasticité moyen à plat du pli i

$G_{r,mean,i}$ module de cisaillement roulant moyen du pli i

B largeur du panneau

t_i épaisseur du pli i

L portée de référence (Annexe B - NF EN 1995-1-1)

Panneaux de type CLT avec plus de 5 plis

Il est possible de généraliser la méthode précédente et de déterminer les valeurs de γ_i pour toute composition symétrique de panneau NORDIC X-LAM CLT.

Les coefficients γ_i pour un panneau avec m plis travaillants s'obtiennent en résolvant l'équation matricielle suivante :

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

avec :

$$V_{1,1} = (C_{1,2} + D_1) \cdot a_1$$

...

$$V_{j,j+1} = -C_{j,j+1} \cdot a_{j+1}$$

$$V_{j,j} = (C_{j-1,j} + C_{j,j+1} + D_j) \cdot a_j$$

$$V_{j+1,j} = -C_{j,j+1} \cdot a_j$$

...

$$V_{m,m} = (C_{m-1,m} + D_m) \cdot a_m$$

où la raideur équivalente du pli i tenant compte des glissements entre les plis travaillants est :

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

la raideur du pli transversal entre les plis longitudinaux j et k est :

$$C_{j,k} = \frac{G_{r,j,k} \cdot B}{t_{j,k}}$$

la raideur du pli longitudinal travaillant i est :

$$D_i = \frac{\pi^2 \cdot E_{fl,at,mean,i} \cdot B \cdot t_i}{L^2}$$

avec :

j, k	pli transversal entre les plis longitudinaux j et k
t_i	l'épaisseur du pli longitudinal i
$t_{j,k}$	l'épaisseur du pli transversal entre les plis longitudinaux j et k
a_i	distance entre l'axe médian d'un pli longitudinal i et le centre de gravité de la section d'un panneau
L	portée de référence (Annexe B - NF EN 1995-1-1)
$G_{r,j,k}$	module de cisaillement roulant du pli transversal situé entre les plis longitudinaux j et k
$E_{fl,at,mean,i}$	module d'élasticité moyen du pli longitudinal i

6.22 Vérifications à l'ELU instantané

Vérification des contraintes normales et de flexion

Les contraintes normales (ici de traction) et de flexion dans le pli travaillant i (ici un pli parallèle aux plis extérieurs) sont prises selon :

$$\sigma_{r,0,x,d}^i = \frac{\gamma_i \cdot a_i \cdot M_d}{I_{ef,x}}$$

$$\sigma_{m,x,d}^i = \frac{0,5 \cdot t_i \cdot M_d}{I_{ef,x}}$$

On vérifie la traction et flexion combinées dans le pli travaillant i (ici un pli parallèle aux plis extérieurs) :

$$\sigma_{r,x,d}^i + \sigma_{m,x,d}^i = (\gamma_i \cdot a_i + 0,5 \cdot t_i) \cdot \frac{M_d}{I_{ef,x}} \leq f_{m,x,d}$$

Note : Les facteurs d'ajustement k_n de la résistance caractéristique en flexion et en traction définis dans NF EN 1995-1-1, § 3.2(3) ne s'appliquent pas aux panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Vérification du cisaillement roulant

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

Le coefficient k_{cr} défini dans NF EN 1995-1-1, § 6.1.7(2) est pris égal à 1,0 pour les panneaux de type CLT.

On vérifie ainsi (ici pour un pli parallèle aux plis extérieurs) :

$$\tau_{v,x,d} = \frac{\gamma_i \cdot S_i}{I_{ef,x} \cdot B} \cdot V_d \leq f_{r,x,d}$$

où le moment statique d'un pli au sein d'une section rectangulaire est :

$$S_i = B \cdot t_i \cdot x_i$$

avec :

B largeur du panneau

t_i l'épaisseur du pli i

x_i l'abscisse du barycentre du pli à l'axe de symétrie du panneau

Note : Dans le cas particulier d'un panneau à 3 plis, les efforts de cisaillement maximaux s'exercent au centre de la section qui se situe au niveau du seul pli transversal. On déterminera donc l'effort de cisaillement au niveau du joint collé le plus proche du centre de gravité général (entre les plis 1 et 2).

6.23 Vérifications à l'ELS du déplacement en tête de mur

Le déplacement dans son plan w_H d'un panneau NORDIC X-LAM CLT sollicité dans son plan par un effort de contreventement en tête de mur $F_{d,horiz}$ est le résultat net de trois déformations :

- la déformation en flexion $w_{H,M}$ du mur considéré comme encastré en pied,
- la déformation due à l'effort tranchant $w_{H,V}$ du mur considéré comme encastré en pied,
- la déformation des ancrages $w_{H,A}$ du panneau sous l'effort de basculement qui dépend de la raideur des ancrages.

Ce déplacement peut être calculé comme suit :

$$w_H = w_{H,M} + w_{H,V} + w_{H,A}$$

avec :

$$w_{H,M} = \frac{F_{d,horiz} \cdot H^3}{3 \cdot E_{mean,edge} \cdot I_{net}}$$

$$w_{H,V} = \frac{F_{d,horiz} \cdot H}{\frac{3}{4} \cdot G_{xy,mean} \cdot A}$$

$$w_{H,A} = \frac{F_{d,horiz} \cdot H^2}{B \cdot K_{ser,A}}$$

où :

$F_{d,horiz}$	l'effort de contreventement en tête de mur
B	la largeur du panneau
H	la hauteur du mur (du bâtiment) considéré
A	section totale du panneau (tenant compte de tous les plis)
I_{net}	inertie nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillants dans la direction sollicitée)
$E_{mean,edge}$	le module d'élasticité moyen du panneau
$G_{xy,mean}$	le module de cisaillement moyen du panneau

Pour tout élément visant à assurer le contreventement de la structure, on vérifie :

$$w_H \leq \frac{H}{500}$$

6.3 Dispositions particulières aux ouvrages de plancher

6.31 Application des règles de calcul

Le dimensionnement des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT en tant que composant de plancher se fait suivant la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

L'ensemble des prescriptions décrites au § 6.1 s'applique aux structures de plancher. Elles sont complétées par les prescriptions suivantes, spécifiques aux structures de plancher.

6.32 Charges

Les charges sont définies au § 6.12. Les éléments de précision suivants s'appliquent aux structures de plancher.

Charges permanentes et quasi-permanentes

Le poids propre de l'ensemble de la structure du plancher, doit également comprendre ses éléments de finition (plafond, revêtement de sol, cloisons séparatives et/ou cloisons légères fixes) et ses composants connexes tel par exemple que l'isolation du plénum.

On entend par « cloisons légères fixes » des cloisons :

- qui pourraient être démontées (ou déconstruites) et remontées (ou reconstruites) au cours de la durée de vie de l'ouvrage,
- dont le poids linéique est inférieur à 2,0 kN/m,
- et qui ne participent pas à la structure porteuse.

On entend par « cloisons séparatives fixes » des cloisons de distribution ou de séparation qui correspondent à la définition des cloisons légères fixes, à l'exception de leur poids linéique qui excède 2,0 kN/m.

La présence de cloisons légères fixes doit être prise en compte dans le dimensionnement des éléments de structure du plancher :

- soit en appliquant les charges linéiques correspondantes en leur lieu effectif, lorsque celui-ci est connu et que la configuration du bâtiment rend peu probable un déplacement ultérieur de ces cloisons,
- soit en appliquant une charge uniformément répartie pour les cloisons légères telle que définie dans NF EN 1991 -1-1, § 5.2.2(2) et § 6.3.1.2(8).
- La charge induite par les cloisons légères fixes est une charge de Long Terme. Par simplification, celle-ci peut également être considérée comme une charge Permanente.

La présence de cloisons séparatives fixes doit être prise en compte dans le dimensionnement des éléments de structure du plancher :

- en appliquant les charges linéiques correspondantes en leur lieu effectif.
- La charge induite par les cloisons séparatives fixes est une charge de Long Terme. Par simplification, celle-ci peut également être considérée comme une charge Permanente.

La charge pour les cloisons légères fixes et cloisons séparatives fixes est usuellement considérée comme charge de second-œuvre, sauf lorsque l'on peut être certain que lesdites cloisons seront installées avant les éléments de second-œuvre.

Afin de pouvoir calculer la déformation totale à long terme sur les éléments de second-œuvre $W_{d2,fin}$, on scinde ces charges permanentes en deux fractions distinctes G_0 et G_1 telles que définies au § 6.12.

Cloisons mobiles

Les cloisons mobiles qui ne sont pas des cloisons légères fixes sont à considérer suivant l'EN 1991-1-1.

Autres charges

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des surcharges pour ne pas mobiliser de manière

importante les cisaillements entre panneaux adjacents.

Les assemblages entre panneaux dans un même plan doivent être conçus et dimensionnés pour limiter le risque de pianotage entre éléments, et, le cas échéant, reprendre les efforts induits pas les surcharges localisées.

Les détails de jonctions entre panneaux dans un même plan sont indiqués dans les dispositions constructives (cf. § 10.23).

Il convient de vérifier (selon le type d'assemblage retenu) :

- la pièce de liaison au cisaillement longitudinal ;
- la résistance des organes de fixation à l'arrachement ;
- la résistance des organes de fixation au cisaillement ;

les contraintes induites sur les organes de fixation devant être considérées simultanément dans une combinaison linéaire.

6.4 Dimensionnement des panneaux porteurs horizontaux

6.41 Généralités

La vérification aux ELU et aux ELS se fait selon les prescriptions décrites au § 6.1, notamment :

- La vérification à l'ELU final est précisée au § 6.18 ;
- Les principes de la vérification à l'ELS sont précisés au § 6.110.

Modèle simplifié

Pour le dimensionnement des panneaux soumis à un chargement hors plan, il est possible de prendre comme modèle des éléments de 1 m de large auxquels on applique la théorie des poutres composites

Flexion transversale

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes) notamment dans les configurations suivantes :

- trémies ;
- porte-à-faux ;
- panneau effectivement appuyé sur plus de deux côtés (les appuis pouvant être continus ou ponctuels).

Compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents au moyen des assemblages courants (cf. § 10.23), les planchers composés de plusieurs panneaux adjacents doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur quatre côtés.

Ces dispositions sont complétées des dispositions suivantes.

6.42 Vérifications aux ELU des contraintes normales, de flexion et de cisaillement

Ces vérifications sont décrites au § 6.22.

Pour les éléments de plancher, le cisaillement sur appui doit également être vérifié.

6.43 Vérification de la résistance au cisaillement au niveau des entailles aux appuis

Les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT doivent être exempts d'entailles aux appuis.

6.44 Vérification des efforts de compression transversale

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

On vérifie la contrainte de compression transversale comme suit:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90,xlam} \cdot f_{c,90,flat,x,d}$$

où :

A_{ef} la surface de contact efficace retenue

$k_{c,90,xlam}$ un facteur tenant compte de la configuration de chargement, de la distribution de contraintes, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression

$f_{c,90,flat,x,d}$ la résistance à la compression perpendiculaire à plat du matériau du pli extérieur soumis à la charge $F_{c,90,d}$

La surface de contact $A_{ef} = b_{ef} \cdot l_{ef}$ est prise intégralement en supposant une répartition et une distribution uniforme des contraintes. La rotation des appuis n'est pas prise en compte. On retiendra :

- pour l_{ef} la longueur de contact exacte ;
- pour b_{ef} la largeur de contact exacte, sauf pour les appuis continus dans le sens perpendiculaire à la portée, pour lesquels on considère un élément de plancher de largeur $b_{ef} = 1$ m.

Note : Les dispositions de l'EN 1995-1-1 permettant d'augmenter la largeur et longueur de contact jusqu'à 30 mm de part et d'autre ne s'appliquent donc pas. La distribution de contrainte est prise en compte au moyen du facteur $k_{c,90,xlam}$.

Dans les configurations de sollicitation courantes suivantes, pour les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT dont le rapport entre l'épaisseur du pli le plus épais $t_{lay,max}$ et du pli le moins épais $t_{lay,min}$ est compris entre 0,5 et 2,0 (inclus), on détermine le facteur $k_{c,90,xlam}$ comme suit, sur la base d'un angle de distribution de contrainte moyen de 35° :

$$k_{c,90,xlam} = \min \left\{ 0,9 \cdot \sqrt{\frac{w_{dis} \cdot l_{dis}}{w \cdot l}} ; 4,0 \right\}$$

où

w = b_{ef} la largeur de contact

l = l_{ef} la longueur de contact

w_{dis} la largeur efficace tenant compte de la distribution des contraintes

l_{dis} la longueur efficace tenant compte de la distribution des contraintes

Les longueur et largeur efficaces tenant compte de la distribution de contrainte sont calculées comme suit :

$$w_{dis} = w + k_{ls} \cdot k_w \cdot 0,7 \cdot t_{xlam}$$

et

$$l_{dis} = l + k_{ls} \cdot k_l \cdot 0,7 \cdot t_{xlam}$$

où

t_{xlam} l'épaisseur totale du panneau

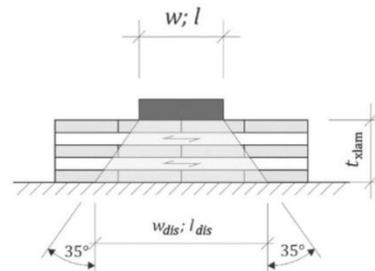
k_{ls} facteur tenant compte de la configuration d'application de la charge

k_w facteur tenant compte de la possibilité de distribution de contraintes dans le sens de la largeur

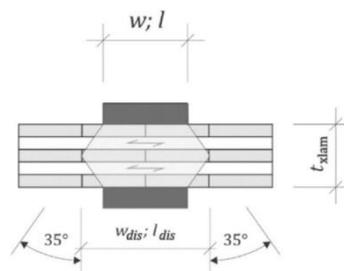
k_l facteur tenant compte de la possibilité de distribution de contraintes dans le sens de la longueur

Le facteur k_{ls} est pris égal à :

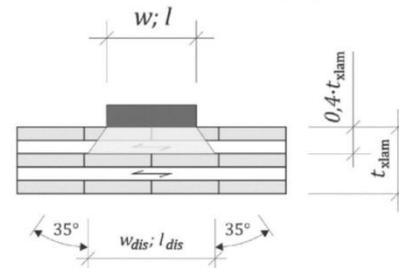
- $k_{ls} = 1,0$ lorsque le panneau est appuyé de manière continue :



- $k_{ls} = 0,5$ lorsque le panneau soumis à une charge de même aire de contact de part et d'autre (transfert de charge) :



- $k_{ls} = 0,4$ lorsque la charge est appliquée en traversée :



Les facteurs k_l et k_w sont pris égaux à :

- $k_l = 2$ resp. $k_w = 2$ lorsque la distribution de contrainte est possible de part et d'autre dans le sens considéré ;
 - $k_l = 1$ resp. $k_w = 1$ lorsque la distribution de contrainte n'est possible que d'un côté dans le sens considéré ;
 - $k_l = 0$ resp. $k_w = 0$ lorsque la distribution de contrainte n'est pas possible dans le sens considéré ;
- (les cas usuels sont décrits en Figure 6.4)

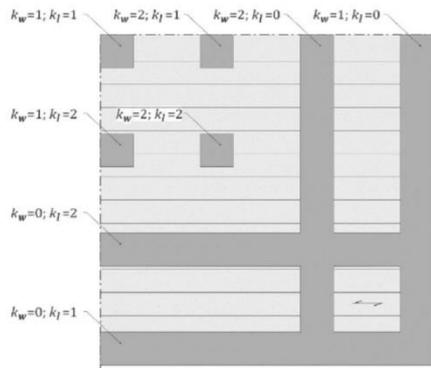


Figure 6.4 – Compression perpendiculaire - Exemples de valeurs des coefficients k_l et k_w

Pour les autres cas, non couverts par ce qui précède, et sauf justification particulière^(*), on prend $k_{c,90,xlam} = 1,0$.

(*) Des solutions pour la détermination de $k_{c,90,xlam}$ dans ces cas peuvent être trouvées dans :

- « Properties of cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to the grain. Proceedings of INTER, Paper INTER/49-12-1 », Brandner, R. ; Schickhofer, G. (2014); et/ou
- « Ultimate limit states design of CLT elements - Basics and some special topics. In: Proceeding of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & FP1404: "Cross Laminated Timber - A competitive wood product for visionary and tire safe buildings" », Thiel, A., Brandner, R. (2016)

6.45 Vérification du cisaillement roulant sous charge concentrée

En complément de la vérification de la contrainte de compression transversale sous charge concentrée selon § 6.44, il convient de vérifier les contraintes de cisaillement roulant sous cette même charge concentrée :

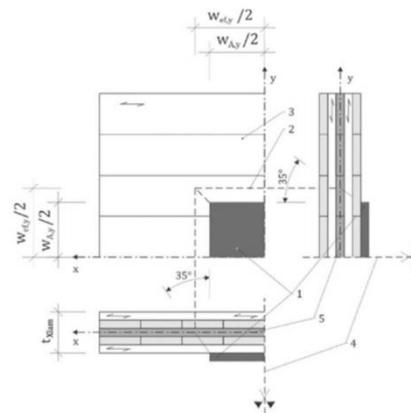
$$\tau_{r,d} \leq k_{r,pu} \cdot f_{r,i,d}$$

où :

$f_{r,i,d}$ la résistance au cisaillement roulant du pli i du panneau

$k_{r,pu}$ Facteur tenant compte du comportement non-linéaire de cette configuration transversale et le cisaillement roulant : $k_{r,pu}=1,4$ pour les panneaux CLT composés uniquement de plis en bois massif, $k_{r,pu} = 1,0$ sinon.

$\tau_{r,d}$ la contrainte de cisaillement roulant déterminée en tenant compte de la distribution de contraintes sous un angle moyen de 35° à mi-épaisseur du panneau :



6.46 Vérifications aux ELS - Flèches

La vérification à l'ELS se fait selon les prescriptions décrites au § 6.110.

Les flèches admissibles décrites ci-après sont des valeurs *a minima*. Les AT ou DTA des procédés de revêtement, ou les DPM peuvent fixer des exigences plus sévères.

Vérifications flèche à long terme - w_{fin} et $w_{net,fin}$

La flèche finale $w_{net,fin}$ 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 structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Vérifications flèche instantanée - w_{inst} ou $w_{Q,inst}$

La flèche instantanée due aux actions variables $w_{Q,inst}$ 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 structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Vérifications flèche active (éléments de second-œuvre) - $w_{d2,fin}$

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 planchers en panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT, les valeurs suivantes :

- Pour les planchers, la flèche active $w_{d2,fin}$, pouvant nuire aux revêtements de sols fragiles, ne doit pas dépasser :
- soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- soit $L/500$ de la portée si celle-ci est $\leq 7,0$ m ; ou $0,7$ cm + $L/1\ 000$ de la portée si celle-ci est supérieure à $7,0$ m, sinon.

Note : Ces limites correspondent aux dispositions du référentiel FD P18 717.

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols fragiles, 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 $\leq 7,0$ m
- soit $1,0$ cm + $L/700$ de la portée si celle-ci est supérieure à $7,0$ m

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Les revêtements fragiles doivent être mise en œuvre en pose désolidarisée au moyen d'un procédé faisant l'objet d'un AT visant un support bois.

Cas des éléments de plancher en porte-à-faux

La longueur des porte-à-faux sera limitée à 20 % de la longueur de la travée adjacente d'équilibre. La déformation finale w_{lim} limite est de $L/500$, L étant la longueur du porte-à-faux.

6.47 Comportement vibratoire

Les planchers d'un ouvrage résidentiel doivent faire l'objet d'une vérification du critère vibratoire défini au § 7.3.3 de la NF EN 1995-1-1.

La méthode de vérification est basée sur la norme ÖNORM EN 1995-1-1+A1/NA:2013, Annexe Nationale Autrichienne de la NF EN 1995-1-1, qui propose un critère vibratoire conforme aux principes de l'EN 1995-1-1 et adapté aux planchers massifs bois.

Cette méthode propose en outre des principes de vérification qui viennent compléter de manière non contradictoire l'Annexe Nationale française de la NF EN 1995-1-1, qui ne présente aucun élément précis de vérification.

La vérification se fait en trois étapes :

- le calcul de la fréquence fondamentale : f_1 (Hz)
- le calcul de la souplesse : déformation du plancher sous charge unitaire d'1 kN : w_{1kN} (mm)
- le calcul de l'accélération a_{rms} (m/s^2)

Domaine d'application de la méthode

La méthode proposée est applicable aux planchers :

- des bâtiments de catégorie d'usage A, B, C1, C3 et D selon NF EN 1991-1-1 ;
- avec une masse surfacique ≥ 50 kg/m^2 ;
- dès lors que l'ouvrage de plancher peut être classé selon la classification décrite ci-après et en respecte les critères constructifs.

Les planchers de masse inférieure et/ou à destination d'usage particulière (salles de sport, de danse, de gymnastique, laboratoires, etc.) doivent faire l'objet d'une analyse spécifique qui n'est pas couverte par le présent document.

Classes d'ouvrages de plancher

On distingue les ouvrages de plancher en panneaux massifs structuraux bois selon leur position, leur destination et leur composition constructive :

- Classe I :
 - planchers séparatifs de logements ou de bureaux ou salles de réunion,
 - ou
 - planchers massifs avec chape flottante sèche et ajout de masse (≥ 60 kg/m^2).
- Classe II :
 - plancher au sein du même logement, utilisation usuelle
 - ou
 - planchers massifs avec chape flottante sèche et ajout de masse (≥ 60 kg/m^2).
- Classe III :
 - planchers sans exigence vis-à-vis de ce critère ou planchers sous locaux non habités

Dans ce qui suit, seuls les ouvrages en Classe I et II sont considérés.

Valeurs limites du calcul vibratoire

Le modèle développé dans la NF EN 1995-1-1 ne spécifie pas la méthode applicable aux planchers pour lesquels la fréquence fondamentale f_1 est inférieure ou égale à 8 Hz. Les cas où $f_1 \leq 8$ Hz nécessitent une analyse spécifique. La méthode présentée propose une approche pour certains cas où $4,5$ $Hz \leq f_1 \leq 8$ Hz.

On considère donc que l'on doit tout d'abord vérifier :

$$f_1 > f_{1,min} = 4,5 \text{ Hz}$$

On définit les limites suivantes pour les deux classes d'ouvrage considérées :

• Classe I :

- $f_{1,lim} = 8$ Hz pour la fréquence fondamentale
- $w_{lim} = 0,25$ mm pour la souplesse
- $a_{lim} = 0,05$ m/s^2 pour l'accélération

• Classe II :

- $f_{1,lim} = 6$ Hz pour la fréquence fondamentale
- $w_{lim} = 0,50$ mm pour la souplesse
- $a_{lim} = 0,10$ m/s^2 pour l'accélération

On considère le critère comme vérifié si :

- $f_1 \geq f_{1,lim}$ pour la fréquence fondamentale
- et
- $w_{1kN} \leq w_{lim}$ pour la souplesse

Si aucun des deux critères n'est satisfait, le critère vibratoire n'est pas satisfait.

Si le critère de souplesse est vérifié, mais que le critère de fréquence fondamentale ne l'est pas, on procède à une vérification complémentaire :

- si $f_{1,min} \leq f_1 \leq f_{1,lim}$ alors on procède à la vérification complémentaire d'accélération a_{rms} ;
- sinon, le critère n'est pas satisfait.

Note : L'Annexe nationale de la NF EN 1995-1-1 précise qu'un confort normal pour un plancher résidentiel d'usage courant correspond à une valeur de la limite « a » de la souplesse ou déformation w_{1kN} de $(1,3 \pm 0,3)$ mm/kN . Les valeurs limites de la méthode proposée sont donc nettement plus sévères.

Calcul de la fréquence fondamentale du plancher

Pour un plancher de dimensions $l \times b$ appuyé sur ses quatre côtés, la fréquence fondamentale f_1 (en Hz) est calculée comme suit:

- pour un plancher à rigidité transversale réduite^(*) :

$$f_1 = k_{e,1} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

- pour un plancher à rigidité transversale élevée^(*) :

$$f_1 = k_{e,1} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{(EI)_b}{(EI)_l}}$$

où

$(EI)_l$ rigidité longitudinale du plancher ($N \cdot m^2/m$)

$(EI)_b$ rigidité transversale du plancher ($N \cdot m^2/m$) avec : $(EI)_b \leq (EI)_l$

m masse du plancher (kg/m^2) correspondant à la somme des actions permanentes et quasi-permanentes

$k_{e,1}$ est un facteur permettant la prise en compte de l'influence de portées dissymétriques pour les planchers sur 3 appuis (cf. ci-dessous)

Note : ce facteur est noté $k_{e,2}$ dans la norme ÖNORM EN 1995-1-1+A1/NA:2013.

^(*) on considère qu'il y a distribution transversale élevée lorsque :

$$\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \geq 0,05$$

Note : La rigidité des chapes peut être prise en compte dans le calcul des rigidités du plancher, néanmoins sans effet composite.

L'influence de portées dissymétriques pour les planchers sur 3 appuis peut être prise en compte au moyen du facteur $k_{e,1}$ défini comme suit en fonction du rapport de la plus grande portée l sur la plus petite portée l_2 :

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Rapport l_2 / l_1										
1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Valeur de $k_{e,1}$										
1,00	1,09	1,16	1,21	1,25	1,28	1,32	1,36	1,41	1,47	1,56

(l'interpolation linéaire entre valeurs du tableau est autorisée)

Calcul de la souplesse du plancher

La souplesse ou déformation sous charge unitaire $F = 1$ kN du plancher w_{1kN} est calculée comme suit :

$$w_{1kN} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (EI)_1 \cdot b_{ef}}$$

où b_{ef} est la largeur contributive du plancher :

$$b_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} b \\ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \end{array} \right.$$

Cette équation s'applique aux planchers sur 2 appuis. Par simplification, elle est également applicable aux planchers sur 3 appuis en prenant l comme la valeur de la plus grande portée.

Calcul de l'accélération a_{rms} du plancher

On calcule l'accélération a_{rms} du plancher comme suit :

$$a_{rms} = \frac{0,4 \cdot \alpha \cdot F_0}{2 \cdot \zeta \cdot M^*}$$

où

$\alpha = e^{-0,47 \cdot f_1}$ coefficient de Fournier de la fréquence fondamentale

F_0 force correspondant au poids d'une personne ($F_0 = 700$ N)

ζ coefficient d'amortissement modal

M^* masse modale (kg)

Le coefficient d'amortissement modal est défini selon le type de plancher :

Typologie de plancher massif	ζ
Avec chape flottante et ajout de masse ≥ 60 kg/m ²	0,04
Avec chape flottante et ajout de masse ≥ 30 kg/m ²	0,025
Avec ou sans chape flottante, sans ajout de masse	0,025

On calcule la masse modale M^* comme suit :

$$M^* = \frac{m \cdot l \cdot b_{ef,M^*}}{2}$$

où b_{ef,M^*} est la largeur contributive à la masse modale du plancher :

$$b_{ef,M^*} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{2} \\ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \end{array} \right.$$

6.48 Conception et dimensionnement des trémies

Principes

Il est possible de réaliser des ouvertures (trémies) dans les ouvrages de plancher en panneaux structuraux massifs bois :

- soit au moyen de renforts structuraux de type poutre (formant un chevêtre porteur), le panneau est alors calculé comme normalement supporté ;

- soit avec des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT seuls, il est alors nécessaire de procéder à des vérifications particulières.

On distingue les dispositions constructives suivantes pour les ouvertures dans les panneaux de plancher :

- la réservation est de faibles dimensions (inférieures à 30 x 30 cm) : certaines dispositions permettent de s'affranchir d'une vérification spécifique ;
- la réservation est située en bordure de panneau (cf. Figure 6.5) : la vérification peut être réalisée par décomposition ;
- la réservation est intégralement comprise dans un même panneau (cf. Figure 6.6) : la vérification peut être réalisée par report de charge.

On définit (avec toutes les dimensions en m) :

B largeur du panneau

L longueur du panneau

b_{res} largeur d'une réservation

l_{res} longueur d'une réservation

c_{res} bande transversale de panneau de largeur 40 cm transmettant le report de charges par l'intermédiaire des plis transversaux

l_1 et l_2 distances respectives entre chaque appui du plancher et l'appui fictif formé par la bande de largeur c_{res}

q_d valeur de calcul de la charge uniformément répartie à reprendre par le plancher [kN/m²]

Réservations de faibles dimensions

On entend par « réservations de faibles dimensions » les réservations de forme rectangulaire ou circulaire de dimensions inférieures à 30 x 30 cm.

Pour ces réservations, aucune justification particulière n'est nécessaire lorsque l'ensemble des dispositions suivantes sont vérifiées (on appelle d_{res} la dimension la plus grande de la réservation concernée ou de deux réservations adjacentes) :

- leur nombre n'excède pas deux par travée d'un même panneau ;
 - l'espacement bord à bord entre deux réservations successives est d'au moins deux fois d_{res} ;
 - la distance du bord du panneau au bord de la réservation est d'au moins une fois d_{res} ;
- ou
- la réservation n'excède pas 15 x 15 cm ;
 - aucune charge concentrée à caractère permanent n'est localisée à une distance inférieure à deux fois d_{res} du bord de la réservation ;

Note : La charge d'exploitation concentrée Q_k définie dans la NF EN 1991-1-1 selon la catégorie d'usage n'est pas concernée par cette disposition qui vise à définir les conditions dans lesquelles une réservation peut s'affranchir d'une vérification par le calcul.

- le taux de travail en flexion et en cisaillement du panneau (considéré comme plein) ne dépasse pas 30 %.

Pour toute réservation qui ne satisfait pas aux dispositions ci-dessus, une vérification spécifique est nécessaire.

Réservations situées en bordure de panneau de plancher - Principe de décomposition

Le principe de décomposition est applicable moyennant le respect des dispositions suivantes :

- la trémie se situe au bord d'un élément porteur de plancher ;
- la largeur de la trémie est inférieure à la moitié de la largeur de l'élément de plancher ;

- le plancher repose sur trois ou quatre appuis perpendiculaires à la longueur du panneau ;
- l'escalier impose un chargement surfacique uniforme soit selon la largeur soit selon la longueur de la trémie, ou n'impose aucun chargement supplémentaire ;
- les poutres virtuelles, issues de la modélisation (cf. Figure 6.5) doivent présenter un élancement (rapport de la portée à l'épaisseur) au moins égal à 6.

On décompose le panneau en poutres virtuelles élémentaires, selon le principe de la Figure 6.5.

Pour chacune des poutres virtuelles élémentaires, on vérifie les efforts et flèches maximaux en travées et en porte-à-faux.

Le cas échéant le chargement imposé par l'escalier est appliqué sur le bord concerné de la poutre virtuelle le supportant.

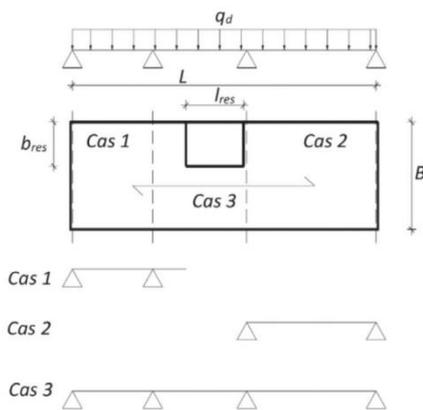


Figure 6.5 - Réservation en bordure de panneau de plancher - Principe de décomposition

Réservations intégralement comprises dans un même panneau de plancher - Principe de report de charge

Le principe de report de charge est applicable moyennant le respect des dispositions suivantes :

- la trémie se situe intégralement au sein d'un seul et même élément porteur de plancher ;
- la largeur de la trémie est inférieure au 2/3 de la largeur de l'élément de plancher ;
- le plancher repose sur deux appuis perpendiculaires à la longueur du panneau ;
- l'escalier impose un chargement surfacique uniforme soit selon la largeur soit selon la longueur de la trémie, ou n'impose aucun chargement supplémentaire.

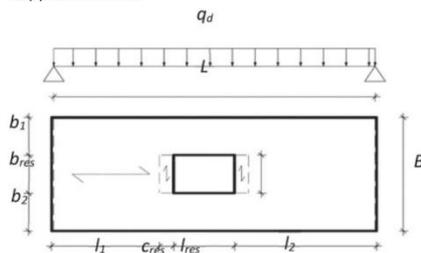
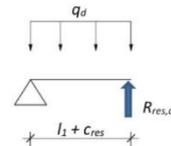


Figure 6.6 - Réservation intégralement comprises dans un même panneau de plancher - Principe de report de charge

La vérification est réalisée en trois étapes :

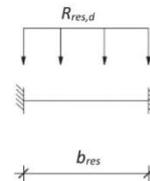
- **Étape 1** : on vérifie la section à hauteur de la bande de largeur b_{res} au niveau de la réservation seule :



On calcule la réaction d'appui élastique fictive $R_{res,d}$ par mètre linéaire qui s'exerce sur la bande de largeur c_{res} :

$$R_{res,d} = \frac{q_d \cdot (l_1 + c_{res})}{2} \text{ [kN/m]}$$

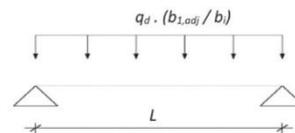
- **Étape 2** : la bande de largeur c_{res} reporte les charges perpendiculairement à la direction principale du panneau vers les bords; on modélise cette bande d'appui fictive comme une poutre fictive encastree en ses deux extrémités soumise à la charge fictive linéique $R_{res,d}$:



On vérifie alors les contraintes de flexion et de cisaillement ainsi que la déformation de cette poutre fictive (transversale) en considérant l'inertie transversale du panneau.

- **Étape 3** : les bandes de largeur b_1 et b_2 (qui ne sont pas entrecoupées par la réservation) reprennent une bande de chargement fictive plus importante de largeur

$$b_{1,adj} = b_1 + \frac{b_{res}}{2} \text{ et } b_{2,adj} = b_2 + \frac{b_{res}}{2}$$



On vérifie alors les contraintes de flexion et de cisaillement ainsi que la déformation de ces poutres (bandes latérales du panneau) sous ce chargement majoré.

6.5 Dispositions particulières aux ouvrages de mur

6.5.1 Application des règles de calcul

Le dimensionnement des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT en tant que composant de mur se fait suivant la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

L'ensemble des prescriptions décrites au § 6.1 s'applique aux structures de mur. Elles sont complétées par les prescriptions suivantes, spécifiques aux structures de mur.

6.5.2 Charges

Les charges sont définies au § 6.12.

6.6 Dimensionnement des panneaux porteurs verticaux

6.6.1 Généralités

La vérification aux ELU et aux ELS se fait selon les prescriptions décrites au § 6.1, notamment:

- la vérification à l'ELU final est précisée au § 6.18 ;
- les principes de la vérification à l'ELS sont précisés au § 6.19.

Ces dispositions sont complétées des dispositions suivantes.

6.62 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges perpendiculaires à la surface du panneau

Pour la reprise des charges perpendiculaires à la surface du panneau structural NORDIC X-LAM CLT (action du vent), l'étude est similaire à celle d'un élément de plancher soumis à la flexion plane (cf. § 6.41, § 6.42 et § 6.46).

Il convient de vérifier aux ELU les contraintes de flexion et de cisaillement induites par ces charges et de vérifier aux ELS les flèches des panneaux conformément aux dispositions du § 6.1 et § 6.2.

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

Principes

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.

La vérification au flambement des panneaux doit être faite en prenant en compte la contrainte à mi-hauteur libre du panneau. Pour la compression transversale la vérification sera faite en pied et en tête du panneau.

Il convient de vérifier la stabilité globale d'un panneau and de vérifier la stabilité locale (notamment sous l'effet de charges concentrées telles que décrites au § 6.67).

Le calcul de l'élongement des panneaux structuraux NORDIC X-LAM 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.

Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

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.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, il convient de considérer un excentrement de la charge verticale pris égal à la plus grande des valeurs suivantes :

- 1/6 de l'épaisseur du panneau ;
- ou
- l'excentrement réel.

On détermine la contrainte de compression (ou de traction) en utilisant la section nette A_{net} et en utilisant l'inertie effective des panneaux I_{ef} calculée conformément au § 6.21.

Lorsque les panneaux structuraux NORDIC X-LAM 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.

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 § 6.66 pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et/ou ouvertures.

Vérification des contraintes de compression et flexion combinées

Le calcul des efforts de compression et de flexion combinés doit être mené selon le § 6.3.2 de la NF EN 1995-1-1 pour les poteaux sollicités en compression seule ou en compression et flexion combinées, en prenant alors $\beta_c = 0,1$.

Lorsqu'il y a risque de flambement (rapport d'élongement $\lambda_{rel,z}$ et $\lambda_{rel,x}$ supérieurs à 0,3), on vérifie (pour le pli $i = x$ ou y) :

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

La vérification de stabilité est réalisée avec le rayon de giration efficace i_{ef} , prenant en compte la déformation par glissement entre les plis et déterminé comme suit :

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

avec

A_{net} section nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillants dans la direction sollicitée)

Lorsqu'il n'y a pas de risque de flambement (rapport d'élongement $\lambda_{rel,z}$ et $\lambda_{rel,x}$ inférieurs ou égaux à 0,3), on vérifie (pour le pli $i = x$ ou y) :

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

Vérification des contraintes de compression ou de traction simple

Pour les murs non sollicités par des actions horizontales perpendiculaires au plan (mur intérieur par exemple), on vérifie (pour le pli $i = x$ ou y) :

- pour la compression, lorsqu'il y a un risque de flambement :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,x} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,i} \cdot k_{c,x} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

- pour la compression, lorsqu'il n'y a pas de risque de flambement :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,i} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

- pour la traction :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{F_{t,0,d}}{A_{net,i} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$$

avec

A_{net} section nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillants dans la direction sollicitée)

Vérification des contraintes de compression oblique

Le calcul de compression oblique s'effectue conformément au § 6.2.2 de la NF EN 1995-1-1, en ne prenant en compte que les plis dont le fil forme un angle α avec l'effort à reprendre c'est-à-dire les plis chargés en bois de bout.

On vérifie ainsi :

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

avec

F l'effort de chargement linéique (N/ml)

t_i épaisseur du pli i dont le fil forme un

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

angle α avec l'effort F (plis en bois de bout travaillants)

$k_{c,90,xtam}$ est déterminé conformément au § 6.44.

Il peut être nécessaire de vérifier le cisaillement roulant lorsque, pour des valeurs de α importantes (supérieures à 60°), les plis transversaux sont sollicités.

Vérification des contraintes sous charges verticales ponctuelles

Les contraintes de compression axiales 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.

On vérifie :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,i,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,i} \cdot k_{c,0,i,d}} \leq 1$$

où

$A_{net,i}$ est défini dans la Figure 6.7 ci-dessous.

avec :

i = x ou y selon l'orientation du fil des plis verticaux

b_{ef} largeur de contact efficace de la poutre

l_{ef} longueur de contact efficace de la poutre

$$A_{net,i} = \sum t_i \cdot l_{ef} \quad A_{net,i} = \sum t_i \cdot b_{ef}$$

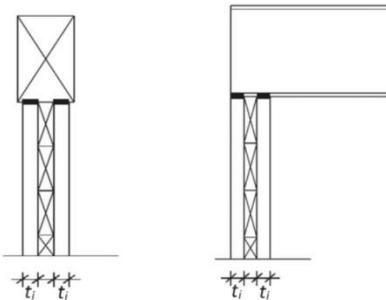


Figure 6.7 – Appui de poutre sur mur en panneaux structuraux massifs bois - Largeur d'appui

Dans le cas d'un appui de poutre en bois, la compression transversale de cette poutre peut être dimensionnante et doit être vérifiée en tenant compte de la surface d'appui telle que représentée dans la figure ci-dessus.

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

Principes

Lorsque des panneaux structuraux NORDIC X-LAM 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 encastrés 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, et
 - de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part.

Lorsque des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il doit être vérifié que le linteau supérieur du panneau est capable de transmettre l'effort horizontal en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.

Il convient de vérifier :

- la capacité résistante au cisaillement des panneaux soumis à une poussée horizontale dans leur plan qui mobilise aussi bien les plis longitudinaux que les plis transversaux ;
- les ancrages qui reprennent les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales (modèle de rotation rigide suivant NF EN 1995-1-1 Méthode A) ;
- les assemblages entre panneaux adjacents dans un même plan lorsque la liaison entre panneaux est considérée.

Vérification de la résistance au cisaillement des panneaux CLT

On vérifie la capacité résistante au cisaillement des panneaux soumis à une poussée horizontale dans leur plan.

Pour ce faire, on vérifie les trois modes de ruptures potentiels sous ce type de sollicitation à l'ELU :

- cisaillement du panneau entier :

$$\tau_{xy,gross,d} = \frac{V_d}{B \cdot t_{xtam}} \leq f_{v,xy,gross,d}$$

- cisaillement au croisement des planches collées entre plis :

$$\tau_{xy,net,d} = \frac{V_d}{B \cdot t_{min}} \leq f_{v,xy,net,d}$$

- cisaillement de torsion des joints entre les planches :

$$\tau_{nor,node,d} = \frac{V_d \cdot H}{\sum I_p} \cdot \frac{b_{min}}{2} \leq f_{v,tor,node,d}$$

où :

B la largeur du panneau

t_{xtam} l'épaisseur du panneau

V_d effort tranchant agissant sur le panneau

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

b_{min} largeur de la planche la moins large par plan de croisement (mm)

I_p moment d'inertie polaire d'une section surface de croisement

$\sum I_p$ somme des moments d'inertie polaire de l'ensemble des surfaces de croisement du panneau

H hauteur du panneau perpendiculaire à l'effort agissant horizontal

Conception des ancrages en pied

Deux types d'efforts sont induits en pied des panneaux soumis à une poussée horizontale dans leur plan :

- les efforts de soulèvement d'une part, induits par le mouvement de rotation (basculement ou

renversement) généré par l'application de la poussée en tête de mur ;

- les efforts de cisaillement d'autre part, correspondant à l'effort horizontal de contreventement transmis au support du mur.

De manière générale on privilégiera une conception dans laquelle :

- les ancrages, reprenant les efforts de soulèvement ainsi générés, sont dimensionnés pour ne reprendre que ces efforts ; et
- 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.

Vérification des assemblages entre panneaux adjacents

Lorsque l'on se place dans la configuration considérant les liaisons entre panneaux, il est nécessaire de porter une attention particulière à la conception des assemblages entre panneaux adjacents afin d'assurer le transfert entre eux des efforts de cisaillement induits par les efforts de contreventement.

Les assemblages entre panneaux dans un même plan sont décrits au § 10.23.

Efforts de traction-compression dus au renversement

L'application en tête de mur de la poussée horizontale dans le plan des panneaux génère un moment de renversement (ou basculement) qui doit être vérifié.

Si l'importance du moment de renversement est telle que des forces de traction sont exercées sur un côté, il convient de :

- dimensionner des tirants d'ancrage pour reprendre ces efforts ;
- vérifier les efforts de traction et de compression dans les panneaux ;
- vérifier les efforts de compression induits dans le support du panneau (cf. Figure 6.8)

Le principe du fonctionnement mécanique du mur de contreventement est décrit en Figure 6.8, avec :

$F_{d,vert}$	charge verticale
M_d	moment de renversement
K_{ax}	rigidité des ressorts de l'ancrage (dépend du type d'ancrage)
K_c	rigidité des ressorts de la zone de compression
L_{eff}	longueur efficace du mur de contreventement
l_{ax}	distance du tirant d'ancrage de l'extrémité du mur
l_z	bras de levier interne
$l_{ef,c}$	largeur de la zone de compression

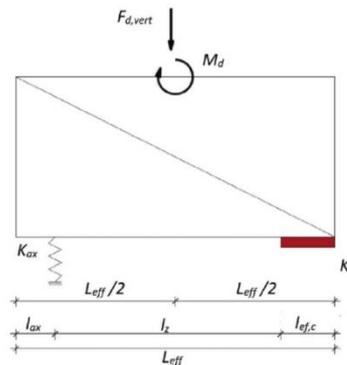


Figure 6.8 – Moment de renversement - Longueur de la zone de compression

On détermine la longueur $l_{ef,c}$ de la zone de compression suivant :

$$l_{ef,c} = \frac{n_a \cdot R_{ax,d} + F_{d,vert}}{b_{eff} \cdot f_{c,0,3,d}}$$

où :

- n_a nombre de tirants d'ancrage
- $R_{ax,d}$ résistance à la traction du tirant d'ancrage
- b_{eff} largeur effective de la section transversale du mur (= somme des épaisseurs des plis verticaux)

6.65 Vérifications aux ELS – Flèches

La vérification à l'ELS se fait selon les prescriptions décrites au § 6.110.

Les flèches admissibles décrites ci-après sont des valeurs *a minima*. Les AT ou DTA des procédés de revêtement, ou les DPM peuvent fixer des exigences plus sévères.

Vérifications flèche instantanée –

$$W_{inst} \text{ ou } W_{Q,inst}$$

La flèche instantanée due aux actions variables $W_{Q,inst}$ ne pourra excéder $H/300$ où H est la hauteur d'étage (le cas échéant du bâtiment). La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Cas des murs support de revêtement de façade

En situation normale, quelle que soit la combinaison de charges considérée, le déplacement horizontal maximal dans le plan et la flèche maximale en travée des murs supportant un revêtement de façade ne pourront excéder $H/500$ où H est la hauteur d'étage (le cas échéant du bâtiment). La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Cas des murs contribuant au contreventement de la structure

En situation normale comme sous sollicitation sismique, quelle que soit la combinaison de charges considérée, le déplacement horizontal maximal dans le plan et la flèche maximale en travée des murs assurant le contreventement ne pourra excéder $1/500$ de la hauteur d'étage (et donc de la hauteur totale du bâtiment). La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

6.66 Vérifications des linteaux

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

On distingue les configurations de linteaux suivantes :

- les linteaux constitués de poutres rapportées en bois ou dérivés du bois et appuyés sur des entailles dans le panneau de mur ;
- les linteaux constitués de pièces rapportés de panneau structural NORDIC X-LAM CLT et appuyés sur des entailles dans le panneau de mur ;
- les linteaux faisant partie intégrante du panneau (linteau résultant de la découpe de l'ouverture dans le panneau).

Linteaux constitués de poutres rapportées

Pour les linteaux constitués de poutres rapportées sollicités en flexion dans leur plan, il convient de vérifier la poutre comme simplement appuyée en configuration de flexion sur chant :

- en considérant la section homogène pour une poutre en bois ou dérivé du bois ;
- en considérant les plis horizontaux comme une section homogène en bois massif et en faisant abstraction des plis verticaux pour une pièce de panneau structural NORDIC X-LAM CLT (qui peut être orientée dans un sens comme dans l'autre).

On procède aux vérifications aux ELU et aux ELS d'un élément fléchi à chant conformément à la NF EN 1995-1-1 (poutre en bois ou dérivé du bois) et aux prescriptions du § 6.1.

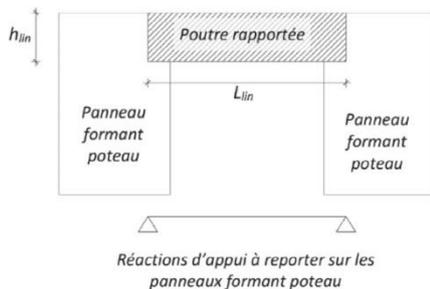


Figure 6.9 - Linteau constitué de poutre rapportée - Modélisation

On vérifie également les contraintes de compression et le risque de flambement dans les parties d'éléments de mur formant poteau selon les dispositions du § 6.63. La largeur fictive formant poteau peut être déterminée selon la méthode décrite au § 6.67 en considérant la charge concentrée induite par la réaction d'appui du linteau.

En outre, pour une pièce rapportée de panneau structural NORDIC X-LAM CLT formant linteau :

- on vérifie les contraintes de compression transversale sur appui selon les dispositions du § 6.44 ;
- on s'assure que les plis horizontaux (travillants) du linteau coïncident avec les plis verticaux (travillants) du mur formant poteau.

Linteaux faisant partie intégrante du panneau

Pour un linteau faisant partie intégrante du panneau de mur, on le modélise :

- par une poutre encastree à ses extrémités lorsque la hauteur du linteau est inférieure à la largeur des bandes de murs formant poteaux ;
- comme une poutre simplement appuyée (linteau constitué d'une pièce rapportée), dans le cas contraire.

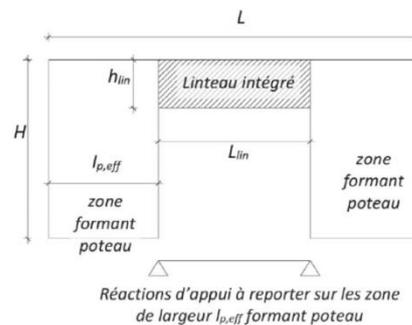


Figure 6.10 - Linteau faisant partie intégrante du panneau - Modélisation

Lorsque la condition d'encastrement est vérifiée, la réaction d'appui et le moment d'encastrement du linteau doivent être transmis à la paroi de mur par l'intermédiaire de la surface de collage.

La réaction d'appui génère des contraintes de cisaillement verticales.

Le moment de flexion génère des contraintes de cisaillement en torsion.

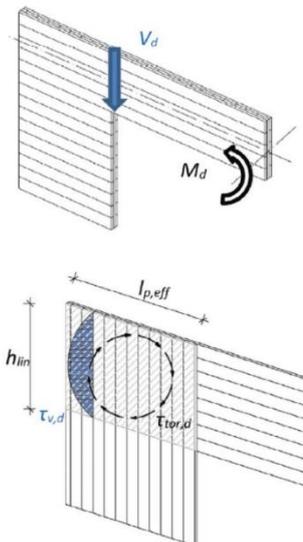


Figure 6.11 - Linteau faisant partie intégrante du panneau - Efforts transmis au panneau

La contrainte de cisaillement totale de la zone formant poteau $\tau_{p,d}$ ainsi obtenue est :

$$\tau_{p,d} = \frac{1}{n} \cdot (\tau_{v,d} + \tau_{tor,d}) = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1,5 \cdot V_d}{A_{v,eff}} + \frac{M_d}{W_{p,eff}} \right)$$

où :

- n_a nombre de plans de collage
- V_d effort tranchant à l'appui de linteau
- M_d moment d'encastrement
- $l_{p,eff}$ longueur d'appui fictive du linteau dans le panneau
- h_{lin} hauteur du linteau

$A_{v,eff}$ surface cisailée par le linteau :

$$A_{v,eff} = l_{p,eff} \cdot h_{lin}$$

$W_{p,eff}$ inertie polaire du plan de collage cisailé :

$$W_{p,eff} = \frac{l_{p,eff} \cdot h_{lin}^3 + l_{p,eff}^2 \cdot h_{lin}}{6}$$

La longueur d'appui fictive $l_{p,eff}$ de la zone formant poteau peut être déterminée en substituant $A_{v,eff}$ et $W_{p,eff}$ dans l'inéquation de vérification du cisaillement total :

$$\tau_{p,d} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1,5 \cdot V_d}{A_{v,eff}} + \frac{M_d}{W_{p,eff}} \right) \leq f_{v,tor,node,d}$$

puis en le transformant en égalité et en résolvant en $l_{p,eff}$:

$$l_{p,eff} = \frac{1}{4 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin} + \left[3 \cdot V_d - 2 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin}^2 + \sqrt{96 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin} \cdot M_d + 9 \cdot V_d^2 + 12 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin}^2 \cdot V_d + 4 \cdot n_a^2 \cdot f_{v,tor,node,d}^2 \cdot h_{lin}^3} \right]}$$

sans que $l_{p,eff}$ ne soit inférieur à la largeur d'une planche verticale.

On vérifie alors les contraintes de compression et le risque de flambement dans les parties d'éléments de mur formant poteau de largeur $l_{p,eff}$ selon les dispositions de § 6.63.

6.67 Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur

La distribution d'une charge concentrée d'une largeur d'application w peut être déterminée en calculant la largeur efficace $w_{ef(H/2)}$ à mi-hauteur et $w_{ef(H)}$ en pied de mur comme suit.

On distingue les configurations de charge concentrées suivantes, illustrées en Figure 6.12 :

Pour un panneau sur appui continu :

- Charge concentrée à l'extrémité d'un mur
- Charge concentrée en plein mur
- Charges concentrées dont les largeurs efficaces respectives en pied de mur sont en recouvrement
- Charge concentrée sans distribution ($w \approx H$)

Pour un panneau sur appui discontinu :

- Charges concentrées en opposition en tête et pied de mur (transfert de charge) – en plein mur
- Charges concentrées en opposition en tête et pied de mur (transfert de charge) – à l'extrémité d'un mur

Pour une charge concentrée à l'extrémité d'un mur :

- La largeur efficace à mi-hauteur $b_{ef(H/2)}$ peut être calculée suivant:

$$b_{ef(H/2)} = 0,90 \cdot b_{ef(H)}$$

- La largeur efficace en pied de mur $b_{ef(H)}$ peut être calculée suivant:

$$b_{ef(H)} = \min \left\{ \begin{array}{l} (0,50 \cdot \xi^2 - 0,90 \cdot \xi + 1,30) \cdot b_{ef(H/2)} \\ 0,90 \cdot b_{ef(H/2)} \end{array} \right.$$

Pour une charge concentrée en plein mur

- La largeur efficace à mi-hauteur $b_{ef(H/2)}$ peut être calculée suivant:

$$b_{ef(H/2)} = 0,90 \cdot \xi^{0,25} \cdot b_{ef(H)}$$

- La largeur efficace en pied de mur $b_{ef(H)}$ peut être calculée suivant:

$$b_{ef(H)} = \min \left\{ \begin{array}{l} (-0,45 \cdot \xi^2 + 0,85 \cdot \xi + 0,50) \cdot b_{ef(H/2)} \\ 0,90 \cdot \xi^{0,25} \cdot b_{ef(H/2)} \end{array} \right.$$

où :

$$\xi = \frac{b}{H}$$

et :

$$b_{ef(H/2)}^* = \frac{\frac{b}{2} \cdot \pi \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \operatorname{atan} \left(\frac{b}{\lambda_2 \cdot H} \right) - \lambda_2 \cdot \operatorname{atan} \left(\frac{b}{\lambda_1 \cdot H} \right)}$$

avec :

$$\lambda_1 = \sqrt{p^2 + \sqrt{p^4 - q^4}} \quad \text{et} \quad \lambda_2 = \sqrt{p^2 - \sqrt{p^4 - q^4}}$$

où :

$$p = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{E_{x,mean}}{G_{xy,mean}} \cdot \frac{t_x}{t_{xlam}}} \quad \text{et} \quad q = \sqrt{\frac{t_x}{t_y}}$$

avec :

$E_{x,mean}$ module d'élasticité moyen du pli dans la direction x

$G_{xy,mean}$ module de cisaillement efficace dans le plan

H hauteur du mur

t_x épaisseur du pli dans la direction x

t_y épaisseur du pli dans la direction y

t_{xlam} épaisseur totale du mur

b largeur d'application de la charge concentrée

$b_{ef(H/2)}^*$ largeur fictive à mi-hauteur

$b_{ef(H/2)}$ largeur efficace à mi-hauteur

$b_{ef(H)}$ largeur efficace en pied de mur

ξ rapport de la largeur d'application de la charge concentrée sur la hauteur du mur

Note : Les indices de direction x et y dans la présente section correspondent au repère défini dans la Figure 6.12.

La contrainte sous charge concentrée q_i peut alors être déterminée selon :

$$\sigma_{(H/2)} = \frac{w_i \cdot q_i}{w_{ef(H/2),i} \cdot t_{xlam}}$$

et

$$\sigma_{(H)} = \frac{w_i \cdot q_i}{w_{ef(H),i} \cdot t_{xlam}}$$

Pour $x = H$ ou $x = H/2$

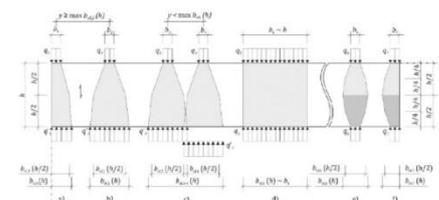


Figure 6.12 – Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur sur appui continu (a, b, c, d) ou discontinu (e, f)

6.7 Dispositions relative au contreventement global

6.71 Généralités

Application des règles de calcul

Le dimensionnement des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT en tant que composant de plancher se fait suivant la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

Les justifications sismiques doivent être réalisées selon la réglementation en vigueur. Au moment de la rédaction du présent document, la réglementation pour les bâtiments repose sur l'Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » et ses modificatifs. Celui-ci défini dans son article 4 les référentiels de dimensionnement autorisés. Pour les panneaux massifs structuraux bois ce sont les suivants :

- NF EN 1998-1 et son annexe nationale (Eurocode 8) ;
- Les ETE.

Le présent document reste donc informatif et ne prévaut pas sur les documents précités.

6.72 Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontale

Principes

La structure de plancher en panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT participe au contreventement global du bâtiment par sa fonction de diaphragme.

Le fonctionnement en diaphragme des planchers assure la répartition des efforts horizontaux (vent, poussée des terres, séisme, etc.) entre les éléments de contreventement (voiles, portiques). Pour cela, le plancher diaphragme doit avoir une rigidité suffisante afin que la déformabilité de cisaillement soit négligeable par rapport aux déplacements horizontaux des éléments porteurs.

L'analyse peut être menée en considérant le comportement du plancher comme celui d'une poutre horizontale plate, proche du mécanisme de poutre en treillis.

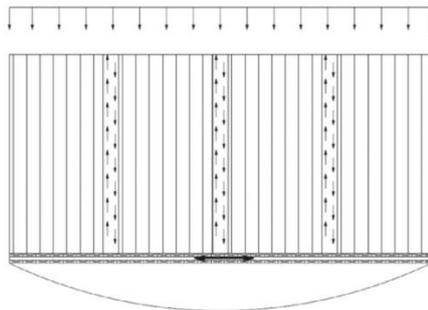


Figure 6.13 – Schématisation du diaphragme de plancher

Pour un plancher en panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT, le diaphragme de plancher se compose de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur. Les efforts de cisaillement dus aux efforts horizontaux sont transmis par les assemblages entre panneaux dans un même plan décrits au § 10.23.

Le calcul des efforts internes du diaphragme permet de dimensionner les assemblages de panneaux entre eux dans le plan du plancher.

Par ailleurs, l'effort horizontal, parallèle au sens de portée des panneaux structuraux massifs bois, induit une flexion du diaphragme qui tend à solliciter en

traction les assemblages entre panneaux situés sur la face de la poutre opposée à l'action.

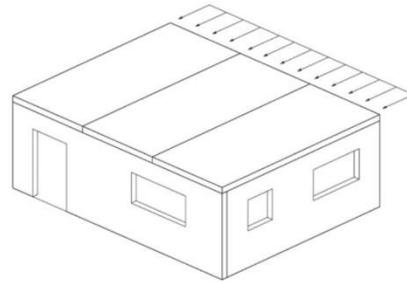


Figure 6.14 – Diaphragme de plancher : Effort de traction induit sur les joints entre panneaux

Les organes d'assemblages entre panneaux de plancher peuvent donc être sollicités à la fois en cisaillement parallèle au joint et en cisaillement transversal (induit par l'effort de traction).

L'assemblage des éléments de plancher aux murs doit permettre de transmettre les efforts de cisaillement en rive.

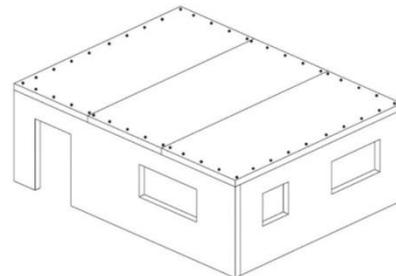


Figure 6.15 – Diaphragme de plancher : Fixation en rive

Il convient de vérifier :

- la capacité des plis des éléments de plancher parallèles à l'axe de l'effort horizontal en traction et compression ;
- la capacité des vis à transférer les efforts aux panneaux adjacents (efforts de cisaillement sur l'assemblage entre panneaux dans un même plan) ;
- le dimensionnement du tirant en bord de plancher (pièce rapporté ou joints renforcés) ;
- la résistance des liaisons des éléments de plancher aux murs porteurs.

Continuité de la transmission des efforts horizontaux (chainage)

Dans le cas de planchers reposant sur des murs composés de plusieurs panneaux, il est nécessaire de vérifier et d'assurer la continuité de la transmission des efforts horizontaux entre panneaux de plancher et panneaux de mur.

Il convient d'éviter qu'un joint de panneaux de plancher coïncide avec un joint de panneau de mur.

Dans le sens (porteur) parallèle au panneau de plancher, ce dernier, lorsque sa longueur est supérieure à celle des panneaux de murs qui le supportent, permet d'assurer la continuité par le biais de sa seule fixation en rive, et seules les éventuelles discontinuités entre panneaux de plancher adjacents bout à bout nécessitent d'être traitées.

Dans le sens perpendiculaire aux panneaux de plancher, chaque joint de panneau est une

discontinuité qu'il convient de vérifier et le cas échéant de traiter.

La discontinuité peut être traitée par des pièces de chaînage telles que :

- plaques métalliques perforées fixées au moyen d'organes de fixation de type tige, ces plaques pouvant être ponctuelles (une plaque à chaque joint entre panneau) ou linéiques (une même plaque couvre plusieurs joints de panneaux) ;
- muralières en bois ou lamellé-collé fixées côté intérieur, de longueur adaptée permettant de recouvrir un ou plusieurs joints de panneaux ;
- ceinture en bois ou lamellé-collé ou panneaux à base de bois fixées côté extérieur, de longueur adaptée permettant de recouvrir un ou plusieurs joints de panneaux.

Note : D'autres solutions de chaînage sont possibles. Elles doivent faire l'objet d'une vérification au cas par cas. Notamment, l'assemblage de panneaux de plancher à mi-bois (§ 10.234) peut s'avérer suffisant dans le cas d'efforts peu importants (p.ex. maison individuelle).

Il convient d'éviter qu'un joint de pièce de chaînage coïncide avec un quelconque joint de panneau (de mur ou de plancher).

Dans tous les cas il convient de vérifier individuellement la résistance des liaisons entre :

- les éléments de plancher et éléments de mur assemblés ;
- les pièces de continuité (chaînage) et les panneaux qu'elles contribuent à lier.

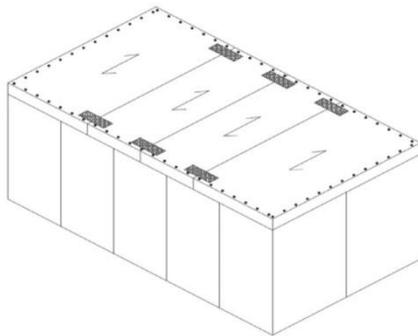


Figure 6.16 – Exemple de chaînage par plaque métallique perforée

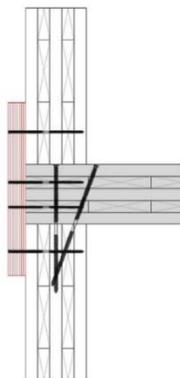


Figure 6.17 – Exemple de chaînage ceinture extérieure en lamibois

6.73 Contribution au contreventement de la structure des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

Par analogie avec les diaphragmes de murs décrits dans la NF EN 1995-1-1, seuls les éléments de mur dont les dimensions respectent le critère $l > h/4$ (avec l et h respectivement largeur et hauteur du mur) peuvent être utilisés pour le contreventement.

Seuls les éléments de mur dont le déplacement horizontal maximal dans le plan et la flèche maximale en travée ne dépassent pas $1/500$ de la hauteur d'étage (et donc de la hauteur totale du bâtiment) peuvent assurer le contreventement de la structure.

En outre, pour les panneaux massifs cloués, seuls les panneaux de 5 plis au moins peuvent assurer le contreventement de la structure.

6.8 Conception des assemblages

6.81 Principe

Les organes de fixation et les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent satisfaire aux exigences du § 10.12 et du § 10.13, respectivement.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés en tenant compte des prescriptions suivantes :

- les organes de fixation conformes à la norme NF EN 14592 peuvent être dimensionnés selon la norme NF EN 1995-1-1, § 7.1 et § 8 lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement, ou qu'il est inséré dans l'épaisseur du panneau (parallèlement aux plans de collage) l'organe de fixation doit faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne (ÉTÉ) visant la fixation dans un panneau structural massif bois qui précise alors notamment :

- les modalités de détermination de la portance locale selon l'orientation de l'effort ;
- les dispositions relatives aux fixations dans l'épaisseur du panneau ;
- les règles de pinces ;
- les modules de glissement ;

applicables dans un panneau structural massif bois.

6.82 Cas des assemblages métal bois

En ce qui concerne les assemblages bois/métal, seuls les assemblages dans les plans de cisaillements aux interfaces bois/métal sont considérés ici.

Il y a par ailleurs lieu de justifier également les éléments métalliques au regard des prescriptions de la norme NF EN 1993-1-1 et son Annexe Nationale.

6.83 Cas des ancrages

L'ancrage des panneaux structuraux massifs bois dans les ouvrages d'infrastructure (usuellement support béton), réalisé par exemple au moyen de chevilles de fixations, doit également faire l'objet d'une vérification.

Les chevilles de fixation doivent bénéficier d'une Évaluation Technique Européenne (ÉTÉ) selon l'ETAG 001 précisant leurs capacités résistantes et leur modalité de dimensionnement.

6.84 Calcul aux ELS

Une attention particulière doit être portée à la détermination du glissement des assemblages des structures en panneaux structuraux massifs bois, afin de s'assurer qu'il n'engendre pas de déformations de structure qui amèneraient celle-ci à ne plus respecter les exigences de la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale et/ou des NF DTU concernés.

7. Sécurité en situation d'incendie

7.1 Réaction au feu

Les panneaux NORDIC X-LAM 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.

7.2 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 NORDIC X-LAM 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'appréciation de laboratoire AL20-274 (établi par le CSTB, du 8 mai 2020).

De plus, la performance de résistance au feu d'un ouvrage en panneaux NORDIC X-LAM CLT peut être déterminée par une méthode de calcul et une règle de dimensionnement.

Une attention particulière doit être portée au traitement des points singuliers tels qu'assemblages entre panneaux ou réservations, afin de ne pas réduire la performance EI (étanchéité aux flammes et isolation thermique) de la partie courante.

Entre autres, la résistance au feu d'un assemblage peut être déterminée par une méthode de calcul et une règle de dimensionnement, notamment la norme NF EN 1995-1-2 (Section 6) et son Annexe Nationale. L'assemblage peut être protégé par addition de panneaux bois, de panneaux à base de bois ou de plaques de plâtre de type A, F ou H, et les organes d'assemblage par des bouchons en bois collés.

7.2.1 Utilisation en support d'étanchéité de toitures-terrasses et toitures inclinées

Dans les lois et règlements en vigueur, les dispositions à considérer pour les toitures proposées ont trait à la tenue au feu venant de l'extérieur et de l'intérieur.

Vis-à-vis du feu venant de l'extérieur

Le comportement au feu des toitures mises en œuvre sous une protection lourde conformes à celles de l'arrêté du 14 février 2003 satisfait aux exigences vis-à-vis du feu extérieur (art. 5 de l'arrêté du 14 février 2003) ; le procédé avec d'autres protections rapportées n'est pas classé.

Le classement de tenue au feu des revêtements apparents pour toitures est indiqué dans les Documents Techniques d'Application particuliers aux procédés.

Vis-à-vis du feu intérieur

Les dispositions réglementaires à considérer sont fonction de la destination des locaux, de la nature et du classement de réaction au feu de l'isolant et de son support.

7.3 Propagation du feu aux façades

Conformément à l'arrêté du 24 mai 2010, et dans les limites d'application de celui-ci, les dispositions constructives permettant à la façade de participer à l'indice C+D (écran thermique, jonction façade/plancher) ainsi que les dispositions visant à limiter le risque de propagation du feu en façade sont déterminées par application des dispositions de l'Instruction Technique 249, précisée et complétée par le guide « Bois construction et propagation du feu par les façades » rédigé en application de l'Instruction Technique 249.

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'Instruction Technique 249.

Pour participer au C+D les panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT doivent justifier :

- D'un degré pare-flamme 1/2h (EI30) de l'extérieur vers l'intérieur pour les éléments placés au-dessus du plancher ;
- D'un degré pare-flamme 1h (EI60) de l'intérieur vers l'extérieur pour les éléments placés au-dessus du plancher (l'exigence est ramenée au degré de résistance requis de la structure si cette dernière est inférieure à 1h).

Les prescriptions du guide « Bois construction et propagation du feu par les façades » rédigé en application de l'Instruction Technique 249 doivent être respectées.

7.3.1 Cas des bardages à lame d'air ventilée

Les façades comportant des baies vitrées et constituées d'un bardage ventilé mis en œuvre sur des parois porteuses ou non-porteuses réalisées en panneaux structuraux massifs bois relèvent du guide « Bois construction et propagation du feu par les façades » rédigé en application de l'Instruction Technique 249 qui a valeur d'Appréciation de laboratoire.

7.3.2 Détails d'intégration des menuiseries

La mise en œuvre des menuiseries doit être conforme aux prescriptions des normes de la série NF DTU 31.X.

8. Dimensionnement en zone sismique

8.1 Mode de calcul

8.1.1 Principes généraux

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux doit être menée en suivant le principe de comportement de structure soit dissipatif (classe de ductilité M) soit faiblement dissipatif (classe de ductilité L) conformément à la norme NF EN 1998-1-1. Les effets des actions sont calculés sur la base de la méthode des forces latérales équivalentes ou de la réponse modale définies au § 4.3.3.1 de la norme NF EN 1998-1-1. Le spectre de calcul est déterminé en appliquant un coefficient de comportement ne pouvant excéder $q = 2,0$ en DCM et $q = 1,5$ en DCL.

Seuls les murs composés de plusieurs panneaux NORDIC X-LAM CLT (panneaux assemblés entre eux) peuvent être dimensionnés en DCM ($q = 2,0$). Si l'ouvrage comporte au moins un mur contreventé composé d'un seul panneau NORDIC X-LAM CLT, le dimensionnement devra être réalisé selon le principe de dimensionnement en DCL ($q = 1,5$).

Les critères de régularité en plan et en élévation de la norme NF EN 1998-1-1 doivent faire l'objet d'une vérification.

Les bâtiments non-réguliers en élévation sont admis, en menant les justifications avec un coefficient de comportement abaissé de 20 % et en déterminant les effets des actions sur la base d'une analyse modale.

Les coefficients de modification k_{mod} correspondant à une classe de durée de chargement instantanée sont appliqués.

Le coefficient partiel Y_M pris en compte dépend du principe de comportement de la structure :

- pour le comportement faiblement dissipatif (DCL), on conserve les coefficients relatifs aux combinaisons fondamentales ;

- pour le comportement dissipatif (DCM), on peut appliquer $Y_M = 1,0$.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux utilisés en plancher doivent être organisés afin de vérifier les points suivants :

- l'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- la fonction tirant-butoin horizontal, assurée uniquement par les plis orientés dans le sens de l'effort à reprendre. La valeur de l'effort t tirant-butoin doit être déterminée par une étude sismique spécifique. Cet effort sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 kN/mi ou l'effort de tirant-butoin déterminé par calcul ;
- la fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits.

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

- menant les vérifications précisées aux § 2.5, § 2.8 et § 4.3 ;
- réalisant la fixation des panneaux au soubassement béton :

- soit par des tiges d'ancrage et/ou bèches, le dimensionnement étant réalisé selon les dispositions de la norme NF EN 1993-1-8 pour les boulons d'ancrage tendus ;
- soit par des chevilles bénéficiant d'une Évaluation Technique Européenne (ETE) visant une utilisation en béton fissuré et sous sollicitation sismique (catégorie C2), le dimensionnement tenant compte des dispositions spécifiques de l'ETE pour cet usage ; on considère en outre un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.

Note : Il est fréquent que l'ETE de la cheville limite la capacité résistante en cisaillement de ces chevilles à la moitié de celle indiquée sous sollicitation statique.

8.12 Principe de dimensionnement en comportement de structure faiblement dissipatif (DCL)

Le spectre de calcul est déterminé en appliquant un coefficient de comportement ne pouvant excéder $q = 1,5$ pour les panneaux de type CLT.

En zone sismique, les différents organes d'assemblages doivent dissiper l'énergie et conférer de la ductilité à la structure, à l'exception des ancrages. Ainsi, la rupture doit être orientée dans ces organes et non pas dans les panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée fragile.

Ces organes jouent alors le rôle de dissipateur de la structure. La conception des assemblages est réalisée suivant les prescriptions de la norme NF EN 1995-1-1 et son amendement A1. Il convient de s'assurer que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage.

En outre, les ancrages devront avoir une résistance et une raideur grandes devant celles des autres assemblages pour garantir un bon comportement dissipatif de la structure. Le dimensionnement des ancrages au soubassement béton réalisé en multipliant les actions par $4/3$ satisfait à cet objectif.

Note : Ce coefficient (4/3) correspond au coefficient retenu dans les recommandations de la CNC2M concernant la justification des ouvrages en classe de ductilité DCL et DCL+.

8.13 Principe de dimensionnement en comportement de structure dissipatif (DCM)

Le spectre de calcul est déterminé en appliquant un coefficient de comportement ne pouvant excéder $q = 2,0$ pour les panneaux de type CLT. Les valeurs de coefficient de comportement seront définies au cas

par cas dans l'Avis Technique (AT) ou le Document Technique d'Application (DTA) correspondant.

La conception de l'ouvrage suivant le principe de comportement de structure dissipatif (DCM) impose de porter la plus grande attention à la conception des assemblages (vis de liaison, équerres, ancrages, etc.) destinés à la dissipation des efforts au regard des efforts de cisaillement engendrés par l'action sismique. À 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 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 ne sont pas admis sans disposition complémentaire s'opposant à leur arrachement ; les pointes lisses ne sont pas admises ;
- de s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mis en œuvre dans un assemblage destiné à dissiper les efforts satisfassent les critères fixés pour la classe de ductilité M au § 8.3(3)P de la norme NF EN 1998-1-1 :

- l'AT ou l'ETE précise leur comportement sous sollicitation cyclique, lorsqu'ils relèvent de ce type d'évaluation ;

- ou un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 démontre un comportement cyclique satisfaisant lorsqu'il s'agit de ferrures mécano-soudées ;

- de s'assurer que le dimensionnement des ancrages de panneaux est 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 $Y_{rd} = 1,3$ pour les murs formés d'un seul panneau continu et $Y_{rd} = 1,6$ pour les murs formés de plusieurs panneaux assemblés par des vis.

Ces dispositions s'appliquent également aux liaisons entre diaphragmes horizontaux et diaphragmes verticaux.

Note : Il résulte de ce qui précède que les seules zones de dissipation à considérer se situent au niveau des liaisons autres que les ancrages et les liaisons externes entre diaphragmes verticaux et horizontaux.

8.2 Exemples de dispositions constructives

Les dispositions constructives proposées ci-après sont destinées à assurer le transfert des efforts du niveau supérieur au niveau inférieur. Le présent document fait l'hypothèse d'une séparation des rôles entre :

- les équerres destinées à reprendre les efforts de cisaillement et à les transférer au plancher ;
- les ancrages ou les plaques destinés à reprendre les efforts de soulèvement.

Les essais réalisés montrent clairement que le soulèvement est le point critique amenant la ruine. Les meilleures performances (résistance et ductilité) sont obtenues en assurant un transfert vertical très performant et en dimensionnant les équerres de manière à obtenir la plastification au niveau des vis sous effort horizontal.

Les trois exemples ci-après sont envisageables pour reprendre les efforts verticaux :

- l'utilisation d'une plaque continue en façade ;
- la plaque en façade peut être complétée par des ancrages côté intérieur ;

- des ancrages seuls peuvent être utilisés lorsqu'ils sont reliés verticalement.

Les équerres doivent être suffisamment nombreuses pour reprendre la totalité des efforts de cisaillement en pied de paroi verticale ainsi que les efforts provenant du diaphragme s'il y a lieu. L'utilisation d'un minimum de deux équerres avec 6 organes de fixation chacune pour chaque panneau quel que soit sa longueur contribue à la ductilité d'ensemble.

Les équerres et ancrages doivent être dimensionnés de manière à ce que la rupture se produise en premier lieu dans les organes de fixation des parties verticales des connecteurs. Le mode de rupture des organes de fixation doit également être ductile.

9. Dispositions constructives

9.1 Dispositions spécifiques aux autres composants

9.11 Compatibilité des organes métalliques

Les organes de fixation de type tige, les connecteurs tridimensionnels (acier et revêtement de surface) et leurs organes de fixation, et toute pièce métallique en contact avec les panneaux structuraux massifs bois doivent être adaptés :

- à la classe de service et la classe d'emploi de l'ouvrage en panneaux massifs structuraux bois considéré.

9.12 Organes de fixation pour assemblages structuraux

Les organes de fixation métalliques de type tige utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage font l'objet :

- d'un marquage CE selon la norme NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement ou est inséré dans l'épaisseur du panneau (parallèlement aux plans de collage).

9.13 Connecteurs métalliques tridimensionnels

9.131 Exigences

Les connecteurs métalliques tridimensionnels utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage font l'objet d'une ETE ou d'un AT visant la fixation dans un support bois.

Alternativement, des ferrures mécano-soudées peuvent également être utilisées. Elles se conforment alors aux dispositions des NF DTU 31.1, NF DTU 31.2 et réalisées selon la norme NF EN 1090-2.

Dans le cas des structures sous sollicitations sismique, l'utilisation de ces ferrures mécano-soudées n'est autorisée que si la justification des structures est menée en suivant le principe de comportement de structure faiblement dissipatif (DCL). En classe DCM, ces connecteurs peuvent être utilisés pour les assemblages de panneaux ne participant pas à la transmission des efforts sismiques sauf si il y a justification de leur ductilité sous sollicitation sismique (cf. § 8.13).

9.132 Dispositions constructives

Les connecteurs sont fixés conformément aux prescriptions du fabricant pour le support considéré.

On veillera à adapter la longueur des éléments de fixation (clous, vis) aux dimensions de l'élément fixé.

On veillera également à limiter (ou prendre en considération au moment de la conception)

l'excentrement de certains connecteurs par rapport à leur position théorique, lié aux variations de planéité ou de position du support (notamment ceux liés aux tolérances de ce dernier).

9.133 Dimensionnement

On vérifie séparément la capacité portante du connecteur (ou de l'assemblage) et les efforts sur l'élément porté (p. ex. résistance sur appui, cisaillement à l'appui, etc.). La présente section ne traite que du connecteur (ou de l'assemblage).

On veillera à prendre en compte l'éventuel excentrement (cf. § 9.132) dans la conception et le dimensionnement de l'assemblage, notamment son influence sur le respect des règles de pinces et l'éventuel moment induit.

Les assemblages métal-bois par connecteurs métalliques sous ETE ou AT et vis, boulons, tiges filetées ou broches sont dimensionnés selon la norme NF EN 1995-1-1, au moyen de la capacité portante caractéristique listée dans l'ETE ou l'AT du connecteur concerné, pour la configuration d'assemblage envisagée.

Les assemblages métal-bois à base de ferrures mécano-soudées sont dimensionnés selon les normes NF EN 1995-1-1, NF EN 1993-1-1 et NF EN 1993-1-8, ainsi que les Recommandations CN2CM pour le dimensionnement des assemblages selon la norme NF EN 1993-1-8.

Les fixations dans le béton par chevilles métalliques sont en outre dimensionnées selon la norme NF EN 1992-4.

Sauf indication contraire explicite liée au mode de rupture, on applique le coefficient partiel Y_M défini dans l'Annexe nationale de la norme NF EN 1995-1-1 pour les assemblages.

Lorsque l'assemblage implique une fixation dans un élément à base de bois, le coefficient k_{mod} défini dans la norme NF EN 1995-1-1 pour ce matériau s'applique également. Il ne s'applique pas lorsque qu'aucune fixation dans un élément à base de bois n'est présente.

Le facteur d'effet de système k_{sys} défini dans la norme NF EN 1995-1-1 ne s'applique pas à la capacité portante du connecteur.

La résistance de calcul aux ELU est :

$$R_d = k_{mod} R_k / Y_M$$

où :

R_d = capacité portante de calcul du connecteur

R_k = capacité portante caractéristique du connecteur

9.14 Autres panneaux à base de bois à usage structural

9.141 Exigences

Les panneaux à base de bois à usage structural devront notamment :

- être marqués CE selon la norme NF EN 13986 ou NF EN 1437 4 (ou ETE) ;
- être adaptés à la Classe de Service et la Classe d'Emploi de l'ouvrage en panneaux massifs structuraux bois considéré.

Note : Les panneaux de type CLT de faible épaisseur (p. ex. panneaux « trois-plis ») conformes à la norme NF EN 16351 peuvent également être utilisés pour la réalisation de liaisons entre panneaux structuraux massifs bois ou d'autres dispositions constructives.

9.142 Dispositions constructives

Lorsqu'ils sont utilisés pour la réalisation de liaisons entre panneaux structuraux massifs bois ou d'autres dispositions constructives, les panneaux à base de bois sont fixés conformément aux prescriptions de cet Avis Technique ou, à défaut, de l'Avis Technique ou Document Technique d'Application considéré.

On veillera toujours à adapter la longueur des éléments de fixation (clous, vis) aux dimensions de l'élément fixé.

9.2 Dispositions constructives communes

9.2.1 Généralités

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois 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 du présent document doivent être conformes aux prescriptions du DTU 31.2 pour la conception, et aux prescriptions des Eurocodes pour le calcul.

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois sont utilisés pour une ou plusieurs de leurs fonctions, pour la réalisation de bâtiments n'entrant pas dans le domaine d'application du DTU 31.2 (par exemple panneaux utilisés pour réaliser les planchers d'un bâtiment à structure porteuse verticale en béton armé ou en maçonnerie de petits éléments), la réalisation des interfaces doit tenir compte des exigences éventuelles des textes visant les autres éléments porteurs (NF EN 1992, DTU 20.1, etc.). Dans ce cas, la structure porteuse formant support des panneaux structuraux massifs bois devra respecter les exigences de tolérance du support précisées au DTU 31.2.

De manière générale les exigences de tolérance du DTU 31.2 ne préjugent pas d'exigences plus sévères liées aux autres parties d'ouvrage (p.ex. revêtement de façade) ou à l'effet du cumul des tolérances.

9.2.2 Appuis des panneaux structuraux massifs bois

Que ce soit comme élément de plancher ou élément de mur, les panneaux structuraux massifs bois doivent être supportés aux appuis par le dessous (sauf cas particulier), soit en reposant sur le matériau support (appui simple), soit au moyen d'une pièce d'appui qui, elle, fournira le support adéquat (appui sur muralière, cornière métallique, ferrure mécano-soudée, etc.).

On distingue les appuis (simple ou pièces d'appui) selon la nature du matériau support :

- bois ;
- métal ;
- béton.

Les configurations d'appui usuelles sont décrites ci-après, ainsi que dans les figures 9.1 à 9.5.

De manière générale, la fixation des panneaux structuraux massifs bois au support doit permettre d'assurer l'équilibre statique de la structure et la transmission des efforts verticaux et horizontaux.

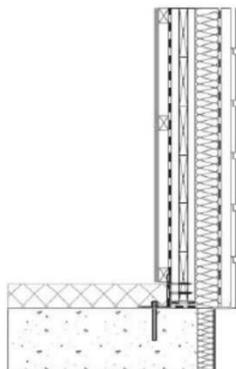


Figure 9.1 – Appui de mur sur support béton

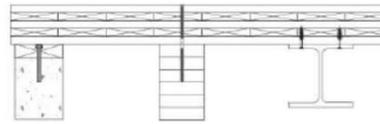


Figure 9.2 – Appuis usuels de plancher sur support bois, métallique ou béton

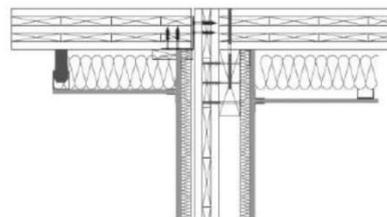


Figure 9.3 – Appui de panneau de plancher sur pièce d'appui métallique ou bois

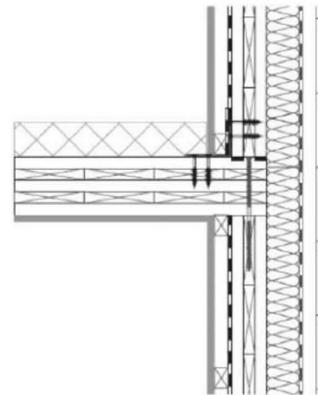


Figure 9.4 – Appui entre panneaux de mur et de plancher assemblé par équerre métallique

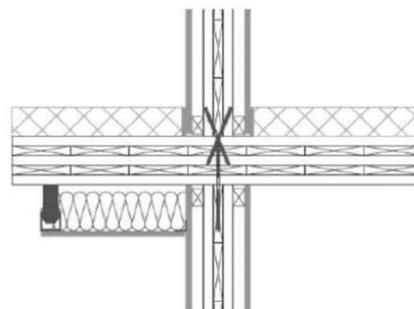


Figure 9.5 – Appui entre panneaux de mur et de plancher assemblé par vissage

9.2.2.1 Longueur minimale d'appui

Pour un élément de plancher, la longueur d'appui doit permettre, toutes tolérances épuisées, de reprendre les efforts de compression transversale sur appui et de respecter les règles de pince de l'organe d'assemblage du panneau à son support. Sauf justification particulière la longueur minimale d'appui est de 45 mm.

Note : La résistance à la compression transversale sur appui dépend de la longueur d'appui du panneau sur le support.

Un élément de mur doit reposer entièrement sur son support. Un débord de l'élément de mur dans le sens de son épaisseur est possible, et doit être justifié en tenant compte des principes suivants toutes tolérances épuisées :

- à l'appui, seuls les plis verticaux effectivement supportés transfèrent les charges verticales en compression ;
- le pli vertical extérieur non supporté peut être mobilisé dans la justification du flambement (section et inertie) en tenant compte de l'excentrement réel.

Sauf justification particulière, le débord, toutes tolérances épuisées n'exécède pas 10 mm ou la demi-épaisseur du pli extérieur (en retenant la plus petite des deux valeurs), sans préjuger d'exigences de tolérances plus sévères liées aux autres parties de l'ouvrage (p.ex. revêtement de façade).

Note : Cette configuration nécessite une attention particulière en situation d'incendie (cf. § 7.2 et § 7.3).

9.222 Appuis sur support bois

Les panneaux structuraux massifs bois doivent être fixés mécaniquement au support bois à chaque appui au moyen d'organes de fixation ou connecteurs métalliques tels que définis au § 9.12 et § 9.13 respectivement.

Les configurations d'appui usuelles sur support bois sont décrites en figure 9.2 à figure 9.5.

9.223 Appuis sur support métallique

Les panneaux structuraux massifs bois doivent être fixés mécaniquement au support métallique à chaque appui au moyen d'organes de fixation tels que définis au § 9.12. La fixation métal-bois directe est possible.

Les configurations d'appui usuelles sur support métalliques sont décrites en figure 9.2 et figure 9.3.

9.224 Appui sur support béton

Les panneaux structuraux massifs bois doivent être fixés mécaniquement au support béton à chaque appui au moyen :

- de connecteurs métalliques tels que définis au § 9.13 ;
- fixés aux panneaux au moyen d'organes de fixation tels que définis au § 9.12 ;
- et ancrés au support béton au moyen de chevilles de fixation doivent bénéficier d'une ETE selon l'ETAG 001.

L'appui peut également être réalisé par interposition d'une lisse d'appui en bois ou dérivés du bois, elle-même fixée au support béton, et formant alors pour le panneau un appui sur support bois. La lisse d'appui respecte alors les prescriptions du NF DTU 31.2 pour ce type de pièce, notamment quant aux dispositions relatives à la durabilité.

Le panneau ou la lisse, comme toute pièce de bois, doit être isolé de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

Les configurations d'appui usuelles sur support béton sont décrites en figure 9.2 et figure 9.3.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton d'arrachement de la fixation dans la structure béton doit être assurée avec un ferrailage adapté suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.

9.225 Calage des éléments

Le calage ponctuel des panneaux (sous lisse d'appui ou directement sous le panneau) peut s'avérer nécessaire, de manière transitoire ou définitive.

On justifie :

- le panneau et le support des cales en tenant compte du caractère ponctuel de ces appuis ;
- la capacité portante et la durabilité des cales.

Note : On veillera à protéger le panneau ainsi que les cales qui le nécessitent (cales bois ou métal par exemple) contre les risques de remontées capillaires (cf. 9.224).

9.23 Assemblage des panneaux entre eux dans un même plan

L'assemblage des panneaux structuraux massif bois entre eux dans un même plan est réalisé par organe de fixation de type tige à mi-bois, par vissage croisés à 45° ou au moyen d'une ou plusieurs languettes en panneaux à base de bois. Leur entraxe est déterminé en fonction des efforts à reprendre, sans excéder 300 mm.

Les panneaux à base de bois utilisés sont en contreplaqué, tels que définis au § 9.141.

L'épaisseur et la largeur des languettes sont déterminées en fonction des efforts à reprendre et du respect des règles de pince, sans être inférieures respectivement à 12 mm et 120 mm.

De manière générale, la fixation des panneaux structuraux massifs bois entre eux dans un même plan doit permettre d'assurer :

- l'équilibre statique de la structure ;
- la transmission des efforts de diaphragme et de contreventement entre panneaux adjacents (mur et/ou plancher) ;
- la limitation des déformations différentielles entre panneaux de plancher adjacents (pianotage).

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.

Cette typologie d'assemblage est sensible aux efforts de traction transversale, qui doit être vérifiée, notamment dans le cas d'assemblage entre eux d'éléments de plancher.

L'assemblage entre panneaux peut être renforcé en surface du panneau par un plat métallique pour la reprise des efforts de cisaillement (diaphragme et contreventement).

Le choix des organes de fixation doit en outre satisfaire aux dispositions du § 9.12. Seules les pointes non lisses sont admises.

9.231 Assemblage par languette en simple cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette vissée dans une feuillure réalisée en atelier sur une face des panneaux. La languette peut également être posée sur les panneaux, sans feuillure.

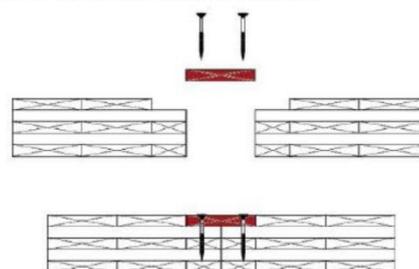


Figure 9.6 - Assemblage par languette en simple cisaillement

9.232 Assemblage par deux languettes en simple cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen de deux languettes assemblées symétriquement sur les deux faces des panneaux dans lesquels des feuillures ont été réalisées en atelier.

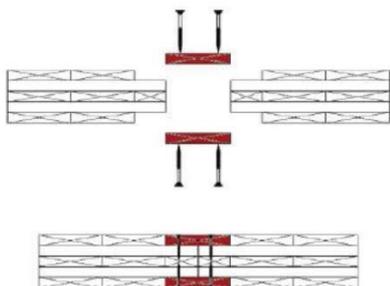


Figure 9.7 – Assemblage par deux languettes en simple cisaillement

9.233 Assemblage par languette en double cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette insérée dans une rainure réalisée dans les panneaux en atelier. Cette languette est ensuite fixée.

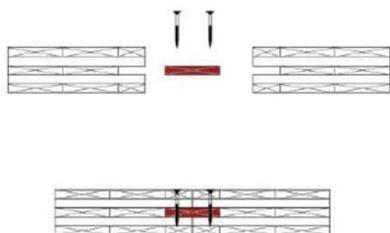


Figure 9.8 – Assemblage par languette en double cisaillement

9.234 Assemblage à mi-bois

Cet assemblage est réalisé par vissage direct des deux panneaux entre eux préalablement usinés d'une découpe longitudinale à mi-bois en atelier sur les faces en opposition des panneaux à assembler.

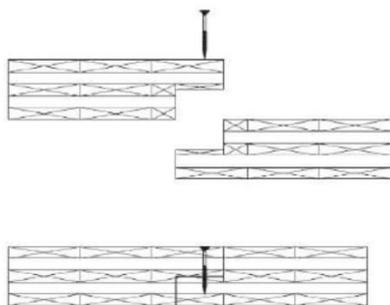


Figure 9.9 – Assemblage à mi-bois

9.24 Assemblage de panneaux en angle (entre murs, mur-plancher)

L'assemblage des panneaux structuraux massifs bois entre eux en angle (assemblage d'angles de murs ou entre mur et plancher) est réalisé :

- par vissage direct entre les panneaux ;
- au moyen de clés vissées aux panneaux ;

- au moyen de connecteurs métalliques tridimensionnels, plats, ou en âme ;
- par l'intermédiaire d'une pièce d'appui (muralière ou cornière métallique) elle-même vissée aux panneaux.

De manière générale, la fixation des panneaux structuraux massifs bois entre eux dans un même plan doit permettre d'assurer :

- l'équilibre statique de la structure ;
- la transmission des efforts de diaphragme et de contreventement entre panneaux assemblés (mur-mur et/ou mur-plancher) ;
- la limitation des déformations différentielles entre étages.

Le choix des organes de fixation et des connecteurs métalliques doit en outre satisfaire aux dispositions du § 9.12 et § 9.13 respectivement.

Les ancrages à un support béton sont réalisés au moyen de chevilles de fixation bénéficiant d'un ATE ou d'une ETE selon l'ETAG 001.

9.241 Assemblage par vissage direct à chant

Cet assemblage est réalisé par vissage direct d'un panneau sur l'autre, la vis pénétrant le panneau cible à chant (dans l'épaisseur du panneau).

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Du fait du vissage à chant (dans l'épaisseur) du panneau cible, qui induit un possible vissage en bois de bout dans les plis transversaux, seules les vis bénéficiant d'un ATE ou d'une ETE visant la fixation en bois de bout dans un panneau structural massif bois sont admises.

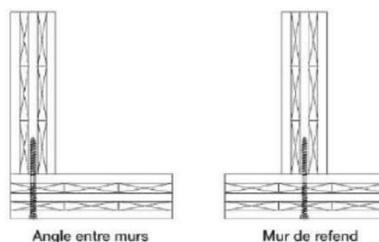


Figure 9.10 – Assemblage par vissage direct à chant

9.242 Assemblage par vissage direct lardé

Dans certains cas (p.ex. lorsqu'un vissage à 90° n'est pas possible ou lorsqu'une augmentation de résistance de l'assemblage est recherchée) l'assemblage peut être réalisé par vissage direct lardé d'un panneau sur l'autre, la vis pénétrant alors le panneau cible à un angle différent de 90°.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Du fait de la multiplicité des plis traversés par la vis, seules les vis bénéficiant d'un ATE ou d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois sont admises.

Note : La résistance de la vis étant sensible à la variation de l'angle de mise en œuvre, l'utilisation d'un gabarit de vissage est recommandée. A défaut, le calcul de la résistance devra prendre en compte cette variation.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

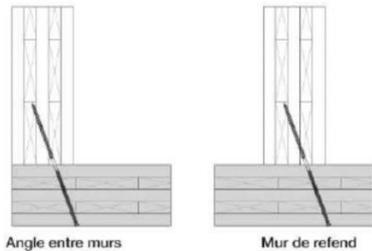


Figure 9.11 – Assemblage entre murs par vissage direct lardé

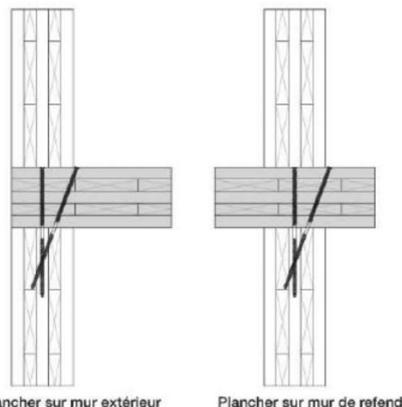
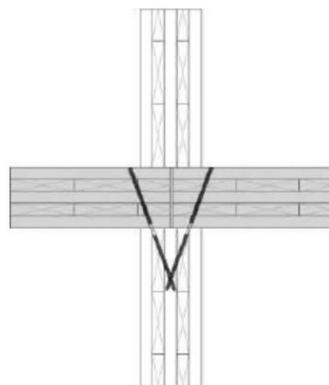


Figure 9.12 – Assemblage mur-plancher par vissage direct lardé



About de 2 panneaux de plancher sur mur de refend

Figure 9.13 – Assemblage mur-plancher par vissage direct lardé

9.243 Assemblage par clés et vis

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette en panneau à base de bois préalablement vissée sur le panneau transversal, avant le vissage direct à chant (dans l'épaisseur du panneau).

Les panneaux à base de bois utilisés sont en contreplaqué, tels que définis au § 9.141.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Du fait de la multiplicité des plis traversés et du vissage à chant (dans l'épaisseur) du panneau cible, qui induit un possible vissage en bois de bout dans les plis transversaux, seules les vis bénéficiant d'un ATE ou d'une ETE visant la fixation en bois de bout dans un panneau structural massif bois sont admises.

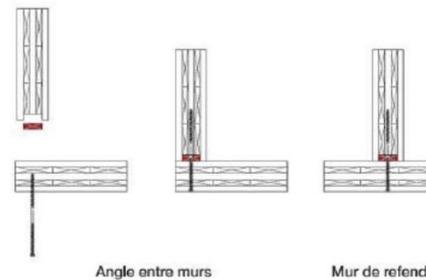


Figure 9.14 – Assemblage par clés et vis

9.244 Assemblage par connecteurs tridimensionnels

Cet assemblage peut être réalisé au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécano-soudées qui satisfont aux dispositions du § 9.13. Un usinage peut être réalisé afin d'éviter une sur-épaisseur et protéger la ferrure par un élément bois rapporté.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Le choix de l'organe de fixation est fait conformément aux dispositions du § 9.12 selon le nombre de plis traversés par l'organe de fixation, incluant le plan de cisaillement métal-bois.

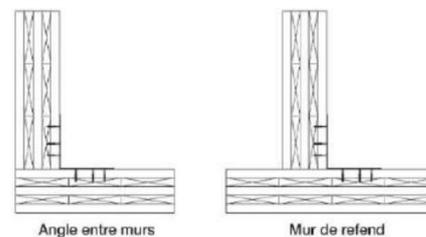


Figure 9.15 – Assemblage entre murs par connecteurs tridimensionnels

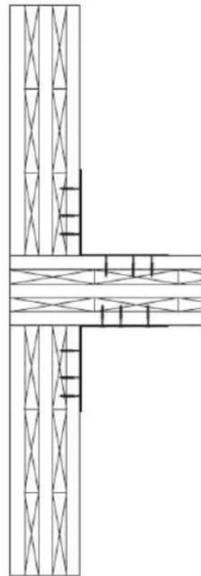


Figure 9.16 – Assemblage mur-plancher par connecteurs tridimensionnels

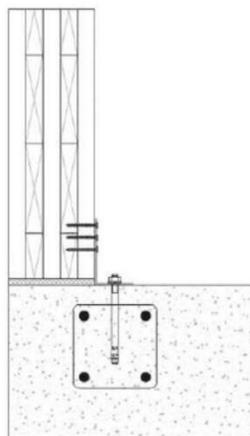


Figure 9.17 – Assemblage mur-support béton par connecteurs tridimensionnels

Dans le cas d'un assemblage sur un support béton, le panneau doit être isolé de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

9.245 Assemblage par muralière bois ou cornière métallique vissée

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une poutre muralière en bois ou dérivé du bois ou d'une cornière métallique préalablement vissée sur le panneau de mur transversal, avant le vissage du panneau de plancher sur cette même pièce d'appui.

Ce type d'assemblage est usuellement limité à l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur (dans cet ordre).

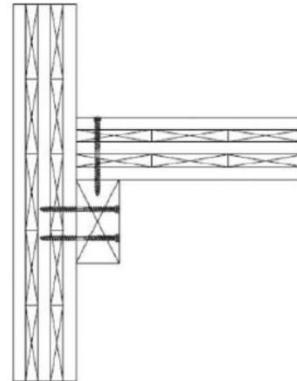


Figure 9.18 – Assemblage par muralière bois vissée

Du fait de la multiplicité des plis traversés par la vis, seules les vis bénéficiant d'un ATE ou d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois sont admises.

Ce type d'assemblage peut également être réalisé sur support béton. Dans ce cas :

- la muralière (ou cornière métallique) est ancrée dans le support béton aux moyen de chevilles de fixation ;
- la muralière bois comme le panneau doivent être isolés de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

9.246 Assemblage bois-métal par plats métalliques

Cet assemblage peut être réalisé au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécano-soudées qui satisfont aux dispositions du § 9.13. Un usinage peut être réalisé afin d'éviter une sur épaisseur et protéger la ferrure par un élément bois rapporté.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'ancrage d'éléments de murs sur support béton.

Le choix de l'organe de fixation est fait conformément aux dispositions du § 9.12 selon le nombre de plis traversés par l'organe de fixation, incluant le plan de cisaillement métal-bois.

Ce type d'assemblage peut également être réalisé sur support béton. Dans ce cas :

- le plat métallique est ancrée dans le support béton aux moyen de chevilles de fixation ;
- le panneau doit être isolé de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du § 6.1 du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

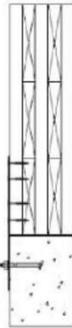


Figure 9.19 – Assemblage métal-bois par plats métalliques sur support béton

9.247 Assemblage bois-métal par plaques métalliques en âmes

Cet assemblage est réalisé au moyen d'un connecteur métallique à plaque en âme préalablement vissé sur le panneau transversal (ou support), inséré dans une feuillure préalablement réalisée en atelier dans le panneau à fixer, avant le vissage transversal au panneau cible.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice-versa.

Cet assemblage peut être réalisé au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécano-soudées qui satisfont aux dispositions du § 9.13.

Le choix de l'organe de fixation est fait conformément aux dispositions du § 9.12 selon le nombre de plis traversés par l'organe de fixation, incluant le plan de cisaillement métal-bois.

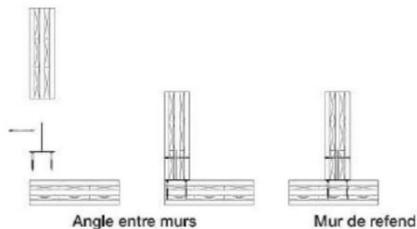


Figure 9.20 – Assemblage bois-métal entre murs par plaques métalliques en âmes

9.248 Assemblage combinant plusieurs solutions

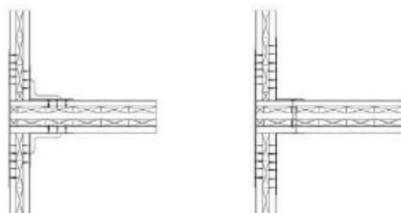


Figure 9.21 – Plaque + équerres

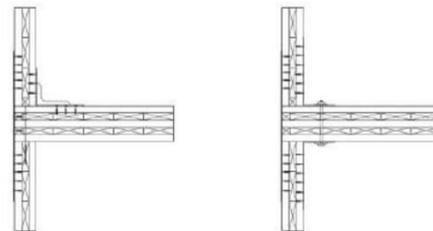


Figure 9.22 – Ancrages plus équerres

9.25 Ouvertures, chevêtres, linteaux

9.251 Ouvertures dans les planchers

Les dispositions relatives aux ouvertures et trémies dans les ouvrages de plancher en panneaux structuraux massifs bois sont décrites au § 6.48.

9.252 Ouvertures dans les murs

Les dispositions relatives aux ouvertures dans les ouvrages de mur en panneaux structuraux massifs bois sont décrites au § 6.65.

10. Transport, stockage et mise en œuvre

10.1 Transport

Les panneaux structuraux massifs bois ne doivent subir aucun dommage ou détérioration durant le transport. Des procédures devront être mises en place afin de :

- faciliter les phases de chargement et de déchargement ;
- garantir la stabilité du chargement durant le transport ; et,
- garantir la sécurité des personnes prenant part à ces phases.

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

Les panneaux NORDIC X-LAM CLT sont protégés par un emballage en plastique polypropylène tout au long du transport. Les panneaux NORDIC X-LAM CLT sont livrés par camion et par bateau dans des conteneurs.

10.2 Stockage sur chantier

Le taux d'humidité moyen des panneaux sortant d'usine est de 12 ± 3 %. L'entreprise en charge des travaux doit prendre les dispositions nécessaires sur chantier afin de prévenir des reprises d'humidité trop importantes.

Après réception, lorsque leur mise en œuvre immédiate n'est pas possible, les panneaux structuraux massifs bois sont entreposés temporairement sur une aire de stockage dédiée, dans le respect des dispositions suivantes :

- La zone de stockage doit être plane et sans obstacles environnants ;
- Le stockage vertical des éléments est recommandé.
- 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 ;
- Une protection contre les intempéries (p. ex. écran pare-pluie respirant) est indispensable, afin d'éviter les salissures et les reprises d'humidité, en portant une attention particulière à l'épaisseur des panneaux stockés verticalement ;
- Lors d'un stockage de longue durée, les protections mises en place doivent permettre une ventilation suffisante de manière à empêcher, notamment, les phénomènes de condensation.

En outre, prévoir un espace de stockage suffisant permet de trier les éléments plus facilement et ainsi gagner du temps de chantier.

Il peut être nécessaire de protéger les panneaux des rayons ultraviolets (UV) lorsque ceux-ci sont destinés à une utilisation avec une face visible. Il est alors indispensable de prévoir sur les panneaux une protection contre le rayonnement solaire (p. ex. écran pare-pluie respirant opaque), pose en usine ou immédiatement après le déchargement (moins de 5 minutes en général).

10.3 Phase de mise en œuvre

Avant le levage des panneaux structuraux massifs bois pour leur positionnement dans l'ouvrage, il convient de :

- vérifier les tolérances d'exécution du support ;
- vérifier les éléments clés du protocole de montage, notamment la visibilité du poids des panneaux, les points de levage et la capacité des moyens de levage ;
- s'assurer de la présence et de la bonne disposition des éléments participant à l'étanchéité à l'eau (provisoire et ou définitive) et à l'air entre le support et les panneaux (bande anti-capillarité, joints de cafeutrement, etc.).

10.31 Prévention des accidents et maîtrise des risques lors de la mise en œuvre et de l'entretien

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé de panneaux structuraux massifs bois proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions.

D'une manière générale, et quelle que soit la fonction des panneaux dans l'ouvrage, la mise en œuvre de ceux-ci impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

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

On veillera en outre au respect des dispositions relatives à la manutention, à la stabilité provisoire et au montage décrites ci-après.

10.32 Stabilité provisoire

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, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étaielement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction.

10.33 Manutention

Un protocole de montage doit être établi, qui précise au cas par cas les modes de manutention et les points de levage (type, nombre, résistance), ainsi que les dispositifs permettant d'assurer la stabilité provisoire des panneaux levés. Ces éléments seront clairement identifiés sur les panneaux livrés sur chantier.

Les points de levage peuvent être des sangles, des crochets, des plaques ou tout autre moyen d'attache permettant d'assurer la sécurité nécessaire lors de la manutention.

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.

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

Il est également indispensable d'adapter les moyens de levage aux solutions de levage retenues. Les outils de manutention sont dimensionnés par leur fabricant respectif. Il convient de se reporter à la documentation technique de chaque fabricant pour s'assurer que la chaîne de manutention peut supporter les charges induites par les panneaux structuraux massifs bois. Cette chaîne comprend usuellement :

- une grue mobile ou à tour ;
- des élingues textiles ou métalliques avec leurs crochets et leurs anneaux ;
- les anneaux de levage.

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

Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux 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 le concepteur et/ou le fabricant doivent être respectés sur chantier.

10.34 Dispositions complémentaires relatives au montage

10.341 Dispositions relatives aux supports/tolérances

La planéité des fondations du bâtiment doit être vérifiée avant la date du montage et, le cas échéant corrigé par calage (voir notamment les dispositions du § 10.21 et § 10.22).

Pour la construction par étages successifs, les chants supérieurs des panneaux verticaux doivent constituer un support plan (± 1 mm/10 m) sur lequel sont vissés les panneaux de plancher.

10.342 Protection en phase chantier

Lorsque les panneaux CLT sont entreposés sur chantier, il est impératif de les protéger contre la pluie, les projections d'eau et de l'humidité par des bâches de protection ou des planches de protection. Il convient de prendre les dispositions nécessaires sur chantier afin de prévenir des reprises d'humidité trop importante. Les panneaux ne doivent pas être posés directement sur le sol, afin d'éviter les salissures et les reprises d'humidité, ni sur une surface non plane qui peut provoquer des déformations.

Au même titre que pour le stockage sur chantier, l'entreprise en charge des travaux doit prendre les dispositions nécessaires sur chantier afin de prévenir des reprises d'humidité trop importantes après la pose, en attendant la mise hors d'eau de la structure en panneaux structuraux massifs bois.

Les reprises d'humidité pourront être limitées à titre d'exemple par la mise en œuvre de toiles ajourées adaptées et fixées aux échafaudages ou par la mise en place d'une membrane de type pare-pluie, frein vapeur ou pare vapeur sur la face extérieure du panneau.

Il convient également de veiller à protéger les points singuliers.

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 provisoire qui couvre la surface des planchers. Cette étanchéité est soit aérienne, réalisée à l'aide de bâches sur

structure en élévation pour éviter son poinçonnement lorsque les ouvriers circulent sur les planchers, soit posée directement sur le panneau structural massif bois, réalisée avec un écran pare-pluie respirant dont la maintenance devra être régulièrement assurée. Il convient également de chasser toute stagnation d'eau.

Un contrôle du taux d'humidité des panneaux NORDIC X-LAM CLT doit être systématiquement réalisé par l'entreprise en charge des travaux lors de leur mise en œuvre. Un contrôle supplémentaire doit être réalisé si les panneaux ont été exposés accidentellement aux intempéries.

10.35 Étanchéité à l'eau – Revêtement de façade

10.351 Étanchéité à l'eau

Les panneaux structuraux massifs bois ne sont pas destinés à jouer un rôle vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau.

Les parois exposées au climat extérieur doivent donc obligatoirement être revêtues.

10.352 Revêtement des murs extérieurs au moyen de bardages rapportés

Un bardage rapporté sur lame d'air ventilée conforme au NF DTU 41.2 peut être mis en œuvre sur parois en panneaux structuraux massifs bois dans le respect des dispositions du NF DTU 31.2.

Compte-tenu de la nature massive du support (épaisseur pleine et continue de minimum 60 mm), l'ossature du bardage peut être fixée selon un calepinage dépendant uniquement de ce dernier (contrairement à un système sur construction à ossature bois (COB) pour lesquelles fixations doivent être localisées au droit des montants de l'ossature).

11. Assistance technique

La conception et le calcul des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT sont à la charge du bureau d'études techniques missionné dans le cadre du projet. Le bureau d'études doit également fournir un plan de pose complet. Nordic Structures fournit une assistance technique en phase de conception et de préparation d'exécution de la structure, à la demande du client.

12. Références

12.1 Données environnementales et sanitaires

Le procédé NORDIC X-LAM CLT fait l'objet d'une Fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) selon les normes NF EN 15804+A1 et son complément national NF EN 15804/CN.

Cette FDES a été établie le 14 mai 2020 par l'institut technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement) (no. d'enregistrement 3-209:2020). Elle a fait l'objet d'une vérification par le Bureau Veritas CODDE (tierce partie) selon le programme de déclaration environnementale et sanitaire pour les produits de constructions INIES le 19/05/2017 et est déposée sur le site www.declaration-environnementale.gouv.fr.

Les données issues d'une FDES ont notamment pour objet de servir au calcul de la performance

environnementale et sanitaire des bâtiments dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés.

Note : Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cette appréciation.

12.2 Autres références

Aucune réalisation incluant les panneaux NORDIC X-LAM CLT n'a encore été réalisée en France par Nordic Structures. Ceci dit, plus de 2000 projets de construction en bois massif ont été réalisés par l'entreprise en Amérique du Nord, en Europe et dans les Caraïbes.

B. Résultats expérimentaux

- FPInnovations. 2011. Evaluation of Mechanical Properties of Proprietary CLT Panels (B.1)
- FPInnovations. 2012. Evaluation of Mechanical Properties of Proprietary CLT Panels – Addenda 2 (B.2)
- FPInnovations. 2014. Shear Resistance Tests on 30 CLT Slabs (B.3)
- Conseil national de recherche du Canada. 2015. Structural Performance Evaluation of CLT Wall-Segment/Columns under Centric and Eccentric Loadings (B.4)
- FPInnovations. 2017. In-plane Shear and Out-of-plane Bending Tests of Cross-Laminated Timber Beams (B.5)
- Intertek. 2012. Untreated Cross-Laminated Timber for Surface Burning Characteristics (B.6)
- FPInnovations. 2013. Fire-Resistance Test Report of E1 Stress Grade Cross-Laminated Timber Assemblies (B.7)
- Conseil national de recherche du Canada. 2016. Fire Endurance of Exposed Cross-Laminated Timber Floor for Tall Buildings (B.8)
- FPInnovations. 2011. CLT : Manuel sur le bois lamellé-croisé, Édition canadienne – Chapitre 9, Acoustique : rapport de synthèse portant sur les propriétés acoustiques de différentes compositions de mur et de plancher; en référence W1, W4, CF11. (B.9)
- FPInnovations. 2013. Final case study of two cross-laminated timber (CLT) buildings: rapport d'essais sur la performance acoustique in-situ de différentes compositions de mur et de plancher avec des panneaux NORDIC X-LAM CLT; en référence Wall 01, Wall 03. (B.10)
- Conseil national de recherche du Canada. 2015. Client report A1-006070.10 : rapport d'essais sur la performance acoustique de différentes compositions de mur et de plancher avec des panneaux NORDIC X-LAM CLT; en référence A1-006070-08W, A1-006070-09W, A1-006070-03F, A1-006070-08F. (B.11)
- FPInnovations. 2014. CLT Handbook – U.S. Edition, Chapter 9, Sound: rapport de synthèse portant sur les propriétés acoustiques de différentes compositions de mur et de plancher; en référence 7.1, 15.2. (B.12)
- Institut technologique FCBA. 2020. Fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES), Panneaux en bois lamellé-croisé CLT Nordic X-Lam (B.13)

Tableaux et figures du Dossier Technique

Nordic Structures

Usine de fabrication à Chibougamau :

Les Chantiers de Chibougamau Ltée
521, chemin Merrill, C.P. 216
Chibougamau (Québec) G8P 2K7
Canada

Bureau technique à Montréal :

Nordic Structures
100-1100, avenue des Canadiens-de-Montréal
Montréal (Québec) H3B 2S2
Canada

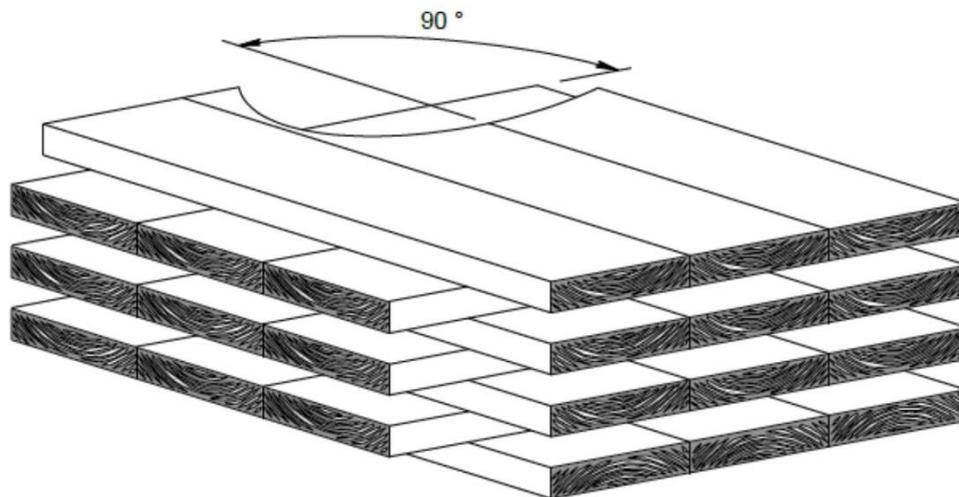


Figure 1.1 : Structure typique d'un panneau structural en bois contre-croisé
Source : EOTA. EAD 130005-00-0304, 2015-03

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 3.1. Dimensions et caractéristiques des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT

Caractéristique	Dimension / propriété
Panneaux	
Épaisseur	89 à 267 mm
Largeur	≤ 2,74 m
Longueur	≤ 19,5 m
Nombre de couches (plis)	3 ≤ n ≤ 9
Nombre de couches (plis) consécutifs disposées dans la même direction	1 lorsque n ≤ 5 1 ou 2 lorsque n > 5
Largeur maximale des joints entre les planches dans une couche	
- Couches longitudinales	2,0 mm
- Couches transversales	6,0 mm
Planches	
Essences	épinette, pin, sapin (S-P-F)
Surface	Rabotée
Épaisseur (après rabotage)	
- Lamelles longitudinales	35 mm
- Lamelles transversales	19 ou 35 mm
Largeur	89 mm
Ratio largeur sur épaisseur	
- Lamelles longitudinales	2,5
- Lamelles transversales	4,7 ou 2,5
Classes de résistance ⁽¹⁾	
- Lamelles longitudinales	- S-P-F MSR 1950F _b -1,7E
- Lamelles transversales	- S-P-F n°3/Stud
Taux d'humidité du bois au moment de la fabrication, conformément à la norme ANSI/APA PRG 320	12 ± 3 %
Assemblage par aboutage à entures multiples ⁽²⁾	selon la norme SPS 4

- 1) Conformément aux normes SPS 2, Norme de produits spéciaux pour le bois classé par machine et Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien, par la Commission nationale de classification des sciages, pour les planches classées par machine (Machine-Stress Rated ou MSR) et visuellement, respectivement.
- 2) Conformément à la norme SPS 4, Norme de produits spéciaux pour le bois jointé classifié par machine, par la Commission nationale de classification des sciages. Les assemblages par aboutage à entures multiples de planches qui représentent des flèches admissibles sont autorisés.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 3.2. Propriétés mécaniques des planches de bois des panneaux NORDIC X-LAM CLT

Caractéristique principale	Méthode d'évaluation	Valeur
Contraintes perpendiculaires au plan du panneau		
Module d'élasticité ⁽¹⁾ - parallèle au fil $E_{0, mean}$ - perpendiculaire au fil $E_{90, mean}$	ANSI/APA PRG 320	L : 11 700 MPa T : 8 300 MPa L : 390 MPa T : 280 MPa
Module de cisaillement ⁽¹⁾ - parallèle au fil $G_{090, mean}$ - perpendiculaire au fil, module de cisaillement roulant $G_{9090, mean}$	ANSI/APA PRG 320 et NF EN 384 *	L : 730 MPa T : 520 MPa L : 50 MPa T : 50 MPa
Résistance en flexion - parallèle au fil $f_{m, k}$	ANSI/APA PRG 320	L : 28,2 MPa T : 7,2 MPa
Résistance à la traction - perpendiculaire au fil $f_{t, 90, k}$	NF EN 384	L : 0,4 MPa T : 0,4 MPa
Résistance à la compression - perpendiculaire au fil $f_{c, 90, k}$	NF EN 16351	L : 3,0 MPa T : 3,0 MPa
Résistance au cisaillement - parallèle au fil $f_{v, 090, k}$ - perpendiculaire au fil, résistance au cisaillement roulant $f_{v, 9090, k}$	ANSI/APA PRG 320	L : 2,0 MPa T : 2,0 MPa L : 0,7 MPa T : 0,7 MPa
Contraintes parallèles au plan du panneau		
Module d'élasticité ⁽¹⁾ - parallèle au fil $E_{0, mean}$	ANSI/APA PRG 320	L : 11 700 MPa T : 8 300 MPa
Module de cisaillement ⁽¹⁾ - parallèle au fil $G_{090, mean}$	ANSI/APA PRG 320	CLT ⁽²⁾ : 250 MPa
Résistance en flexion - parallèle au fil $f_{m, k}$	ANSI/APA PRG 320	L : 28,2 MPa T : 7,2 MPa
Résistance en traction - parallèle au fil $f_{t, 90, k}$	ANSI/APA PRG 320	L : 19,9 MPa T : 3,6 MPa
Résistance à la compression - parallèle au fil $f_{c, 90, k}$	ANSI/APA PRG 320	L : 23,6 MPa T : 8,5 MPa
Résistance au cisaillement - parallèle au fil $f_{v, 090, k}$	ANSI/APA PRG 320	CLT ⁽²⁾ : 2,2 MPa

Note : L = planches longitudinales (longues), T = planches transversales (courtes)

- 1) Pour la détermination des valeurs de rupture à 5% des propriétés de rigidité, les valeurs moyennes peuvent être multipliées par 5/6.
- 2) Le module de cisaillement et la résistance au cisaillement du panneau CLT sont basés sur l'épaisseur du panneau conformément aux tests de performance du produit. Voir le tableau 3.4 – Propriétés mécaniques des panneaux structuraux NORDIC X-LAM CLT.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 4.1 – Structure des panneaux NORDIC X-LAM CLT

Structure des panneaux			
Nombre de plis	Produit ^(a)	Structure ^(b)	Épaisseur (mm)
3	89-3s	35L - 19T - 35L	89
	105-3s	35L - 35T - 35L	105
5	143-5s	35L - 19T - 35L - 19T - 35L	143
	175-5s	35L - 35T - 35L - 35T - 35L	175
7	197-7s	35L - 19T - 35L - 19T - 35L - 19T - 35L	197
	213-7l	35L - 35L - 19T - 35L - 19T - 35L - 35L	213
	244-7s	35L - 35T - 35L - 35T - 35L - 35T - 35L	244
	244-7l	35L - 35L - 35T - 35L - 35T - 35L - 35L	244
9	267-9l	35L - 35L - 19T - 35L - 19T - 35L - 19T - 35L - 35L	267

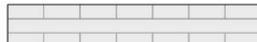
a) La désignation du produit réfère à l'épaisseur du panneau (en mm), au nombre de plis et à la composition («s» pour les plis perpendiculaires standard, et «l» pour les plis extérieurs parallèles doubles).

b) L = longitudinal, T = transversal, 35 = 1,375 pouce = 34,925 mm, 19 = 0,75 pouce = 19,05 mm

3 plis



89-3s

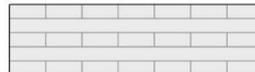


105-3s

5 plis

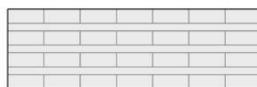


143-5s

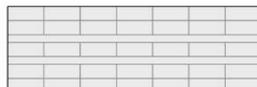


175-5s

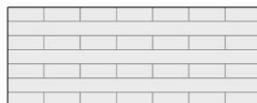
7 plis



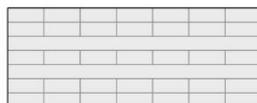
197-7s



213-7l

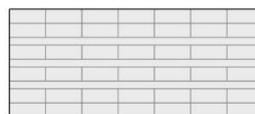


244-7s



244-7l

9 plis



267-9l

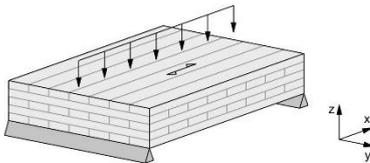
Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 4.2 – Caractéristiques géométriques des panneaux NORDIC X-LAM CLT

Flexion selon l'axe de résistance principale

Nombre de plis	Produit	$h_{\text{eff},x}^{(a)}$ (cm)	$A_{\text{net},x}^{(b)}$ (cm ²)	$I_{\text{net},x}^{(c)}$ (cm ⁴)	$W_{\text{net},x}^{(d)}$ (cm ³)	$S_{\text{net},x}^{(e)}$ (cm ³)	$i_{\text{net},x}^{(f)}$ (cm)	$A_{\text{plein},x}^{(g)}$ (cm ²)	$I_{\text{plein},x}^{(h)}$ (cm ⁴)	$W_{\text{plein},x}^{(i)}$ (cm ³)	$i_{\text{plein},x}^{(j)}$ (cm)	$I_{\text{effectif},x}^{(k)}$ (cm ⁴)			
												L = 2 m	L = 4 m	L = 6 m	L = 8 m
3	89-3s	8,9	699	5 797	1 304	943	2,88	889	5 855	1 317	2,57	4 978	5 564	5 691	5 737
	105-3s	10,5	699	9 230	1 762	1 220	3,64	1 048	9 585	1 830	3,02	7 011	8 541	8 909	9 047
5	143-5s	14,3	1 048	21 414	2 998	2 038	4,52	1 429	24 305	3 402	4,12	15 767	19 631	20 581	20 937
	175-5s	17,5	1 048	35 145	4 025	2 592	5,79	1 746	44 375	5 082	5,04	21 062	30 043	32 672	33 708
7	197-7s	19,7	1 397	52 294	5 313	3 770	6,12	1 969	63 566	6 458	5,68	32 220	45 157	48 853	50 299
	213-7l	21,3	1 746	77 328	7 270	5 142	6,65	2 127	80 218	7 542	6,14	46 353	65 841	71 721	74 062
	244-7s	24,4	1 397	86 620	7 086	4 879	7,87	2 445	121 765	9 961	7,06	40 268	67 008	76 621	80 690
	244-7l	24,4	1 746	112 535	9 206	6 251	8,03	2 445	121 765	9 961	7,06	50 253	84 800	98 123	103 918
9	267-9l	26,7	2 096	146 811	11 009	7 818	8,37	2 667	158 084	11 855	7,70	69 801	114 037	130 066	136 872

- a) Épaisseur effective du panneau selon l'axe de résistance principale.
- b) Aire de la section transversale nette pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe x.
- c) Moment d'inertie net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe x.
- d) Module de section net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe x.
- e) Moment statique net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe x.
- f) Rayon de giration net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe x.
- g) Aire de la section transversale brute pour un panneau de 1 mètre de large.
- h) Moment d'inertie brut pour un panneau de 1 mètre de large.
- i) Module de section brut pour un panneau de 1 mètre de large.
- j) Rayon de giration brut pour un panneau de 1 mètre de large.
- k) Moment d'inertie effectif pour un panneau de 1 mètre de large selon l'axe de résistance principale, qui tient compte du glissement lié à la déformation des plis transversaux.



Flexion selon l'axe de résistance principale

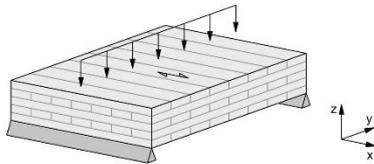
Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 4.2 – Caractéristiques géométriques des panneaux NORDIC X-LAM CLT (suite)

Flexion selon l'axe de résistance secondaire

Nombre de plis	Produit	$h_{\text{eff},y}^{(a)}$ (cm)	$A_{\text{net},y}^{(b)}$ (cm ²)	$I_{\text{net},y}^{(c)}$ (cm ⁴)	$W_{\text{net},y}^{(d)}$ (cm ³)	$S_{\text{net},y}^{(e)}$ (cm ³)	$I_{\text{net},y}^{(f)}$ (cm)	$A_{\text{plein},y}^{(g)}$ (cm ²)	$I_{\text{plein},y}^{(h)}$ (cm ⁴)	$W_{\text{plein},y}^{(i)}$ (cm ³)	$I_{\text{plein},y}^{(j)}$ (cm)	$I_{\text{effectif},y}^{(k)}$ (cm ⁴)		
												L = 1 m	L = 2 m	L = 2,74 m
3	89-3s	1,9	191	58	60	45	0,55	191	58	60	0,55	-	-	-
	105-3s	3,5	349	355	203	152	1,01	349	355	203	1,01	-	-	-
5	143-5s	7,3	381	2 890	792	514	2,75	730	3 245	889	2,11	1 911	2 557	2 702
	175-5s	10,5	699	9 230	1 762	1 220	3,64	1 048	9 585	1 830	3,02	4 972	7 527	8 229
7	197-7s	12,7	572	11 273	1 775	1 074	4,44	1 270	17 070	2 688	3,67	5 484	8 896	9 865
	213-7l	7,3	381	2 890	792	514	2,75	730	3 245	889	2,11	1 911	2 557	2 702
	244-7s	17,5	1 048	35 145	4 025	2 592	5,79	1 746	44 375	5 082	5,04	12 431	23 791	27 981
	244-7l	10,5	699	9 230	1 762	1 220	3,64	1 048	9 585	1 830	3,02	4 972	7 527	8 229
9	267-9l	12,7	572	11 273	1 775	1 074	4,44	1 270	17 070	2 688	3,67	5 484	8 896	9 865

- a) Épaisseur effective du panneau selon l'axe de résistance secondaire.
- b) Aire de la section transversale nette pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe y.
- c) Moment d'inertie net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe y.
- d) Module de section net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe y.
- e) Moment statique net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe y.
- f) Rayon de giration net pour un panneau de 1 mètre de large, qui tient compte uniquement des plis orientés selon l'axe y.
- g) Aire de la section transversale brute pour un panneau de 1 mètre de large.
- h) Moment d'inertie brut pour un panneau de 1 mètre de large.
- i) Module de section brut pour un panneau de 1 mètre de large.
- j) Rayon de giration brut pour un panneau de 1 mètre de large.
- k) Moment d'inertie effectif pour un panneau de 1 mètre de large selon l'axe de résistance secondaire, qui tient compte du glissement lié à la déformation des plis transversaux.

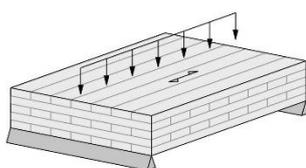


Flexion selon l'axe de résistance secondaire

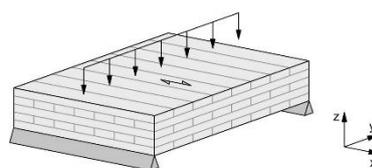
Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 4.3 – Résistances caractéristiques des panneaux NORDIC X-LAM CLT

Dalles de plancher/toit	3 plis		5 plis		7 plis		9 plis		
Produit	89-3s	105-3s	143-5s	175-5s	197-7s	213-7l	244-7s	244-7l	267-9l
Flexion selon l'axe de résistance principale									
Résistances caractéristiques (MPa)									
Flexion longitudinale, $f_{m,0,k}$	27,9	27,2	24,8	22,3	23,2	27,2	20,1	26,1	26,2
Cisaillement longitudinal, $f_{v,0,k}$	0,73	0,76	0,83	0,87	0,74	0,76	0,76	0,79	0,74
Compression perpendiculaire au panneau, $f_{c,90,k}$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Traction perpendiculaire au panneau, $f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Rigidités moyennes (MPa)									
Module d'élasticité longitudinal moyen, $E_{0,mean}$	11 585	11 267	10 309	9 266	9 625	11 278	8 323	10 813	10 866
Module de cisaillement moyen, G_{mean}	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Flexion selon l'axe de résistance secondaire									
Résistances caractéristiques (MPa)									
Flexion transversale, $f_{m,90,k}$	0,33	0,80	1,68	2,50	1,98	0,76	2,91	1,27	1,08
Cisaillement transversal, $f_{v,90,k}$	0,15	0,23	0,41	0,46	0,58	0,28	0,62	0,33	0,43
Compression perpendiculaire au panneau, $f_{c,90,k}$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Traction perpendiculaire au panneau, $f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Rigidités moyennes (MPa)									
Module d'élasticité transversal moyen, $E_{90,mean}$	82	307	987	1 726	1 472	299	2 396	629	592
Module de cisaillement moyen, G_{mean}	50	50	50	50	50	50	50	50	50



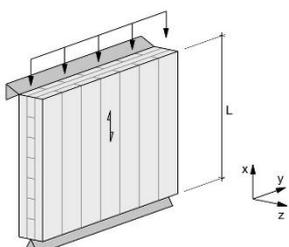
Flexion selon l'axe de résistance principale



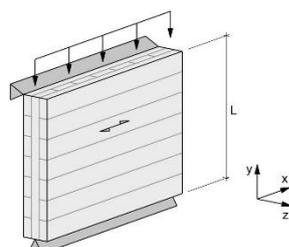
Flexion selon l'axe de résistance secondaire

Tableau 4.3 – Résistances caractéristiques des panneaux NORDIC X-LAM CLT (suite)

Murs	3 plis		5 plis		7 plis		9 plis		
Produit	89-3s	105-3s	143-5s	175-5s	197-7s	213-7l	244-7s	244-7l	267-9l
Charges parallèles aux couches extérieures									
Résistances caractéristiques (MPa)									
Compression longitudinale, $f_{c,0,k}$	18,5	15,7	17,3	14,2	16,7	19,4	13,5	16,9	18,5
Traction longitudinale, $f_{t,0,k}$	15,6	13,3	14,6	11,9	14,1	16,3	11,4	14,2	15,6
Flambage (-)									
Coefficient pour le rayon d'inertie, k_i	0,891	0,832	0,912	0,870	0,929	0,923	0,896	0,879	0,920
Charges perpendiculaires aux couches extérieures									
Résistances caractéristiques (MPa)									
Compression longitudinale, $f_{c,90,k}$	1,82	2,83	2,27	3,40	2,47	1,52	3,64	2,43	1,82
Traction longitudinale, $f_{t,90,k}$	0,77	1,20	0,96	1,44	1,05	0,64	1,54	1,03	0,77
Flambage (-)									
Coefficient pour le rayon d'inertie, $k_{90,i}$	4,67	3,00	1,50	1,39	1,28	2,23	1,22	1,94	1,73



Charges parallèles aux couches extérieures

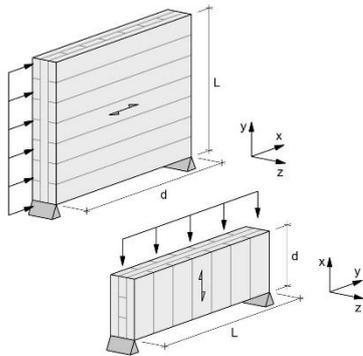


Charges perpendiculaires aux couches extérieures

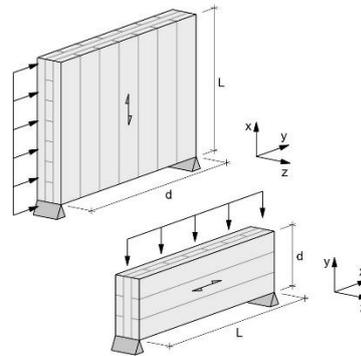
Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Tableau 4.3 – Résistances caractéristiques des panneaux NORDIC X-LAM CLT (suite)

Murs de refends, linteaux et diaphragmes									
Nombre de plis	3 plis		5 plis		7 plis			9 plis	
Produit	89-3s	105-3s	143-5s	175-5s	197-7s	213-7l	244-7s	244-7l	267-9l
Charges parallèles aux couches extérieures									
Résistances caractéristiques (MPa)									
Flexion transversale, $f_{m,90,k}$	1,54	2,40	1,92	2,88	2,09	1,29	3,09	2,06	1,54
Cisaillement transversal, $f_{v,90,k}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Rigidités moyennes (MPa)									
Module d'élasticité transversal moyen, $E_{90,mean}$	1 779	2 767	2 213	3 320	2 410	1 487	3 557	2 371	1 779
Module de cisaillement moyen, G_{mean}	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Charges perpendiculaire aux couches extérieures									
Résistances caractéristiques (MPa)									
Flexion longitudinale, $f_{m,0,k}$	22,2	18,8	20,7	16,9	20,0	23,1	16,1	20,1	22,2
Cisaillement longitudinal, $f_{v,0,k}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Rigidités moyennes (MPa)									
Module d'élasticité longitudinal moyen, $E_{0,mean}$	9 193	7 800	8 580	7 020	8 303	9 604	6 686	8 357	9 193
Module de cisaillement moyen, G_{mean}	250	250	250	250	250	250	250	250	250



Charges parallèles aux couches extérieures



Charges perpendiculaires aux couches extérieures

Détails structuraux – Exemples d'assemblage

Figure 1.1	Mur sur lisse d'assise, vissé
Figure 1.2	Mur sur lisse d'assise, plaque d'acier
Figure 1.3	Mur sur lisse d'assise, ferrure de type <i>holdown</i>
Figure 1.4	Mur sur lisse d'assise, angle en acier
Figure 1.5	Mur sur fondation, ferrure de type <i>holdown</i>
Figure 1.6	Mur sur fondation, cornière clouée
Figure 1.7	Mur sur fondation, cornière vissée
Figure 1.8	Mur sur fondation, profilé en C cloué
Figure 1.9	Plancher sur cornière contre mur de fondation
Figure 1.10	Plancher sur poutre en acier
Figure 1.11	Plancher sur poutre ou mur de béton
Figure 1.12	Plancher continu sur poutre

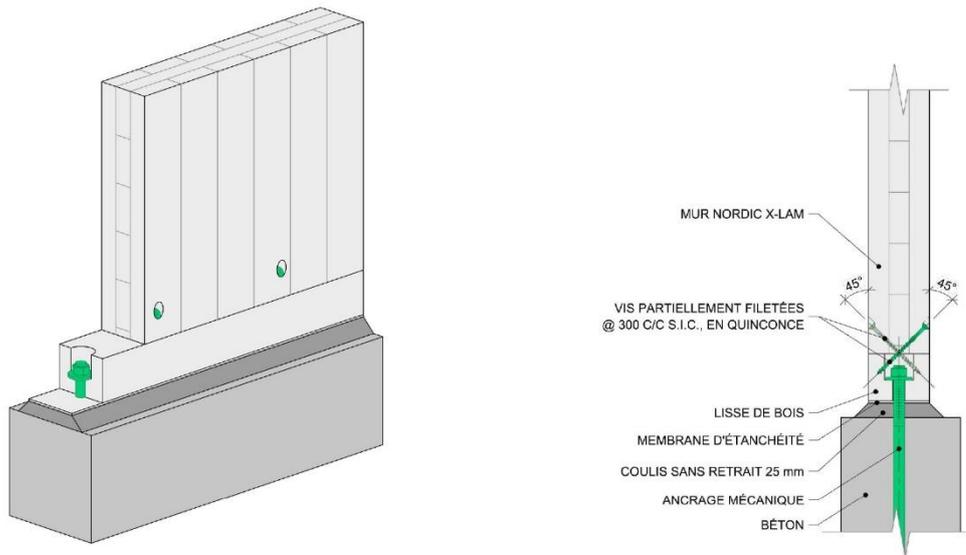


Figure 1.1 Mur sur lisse d'assise, vissé

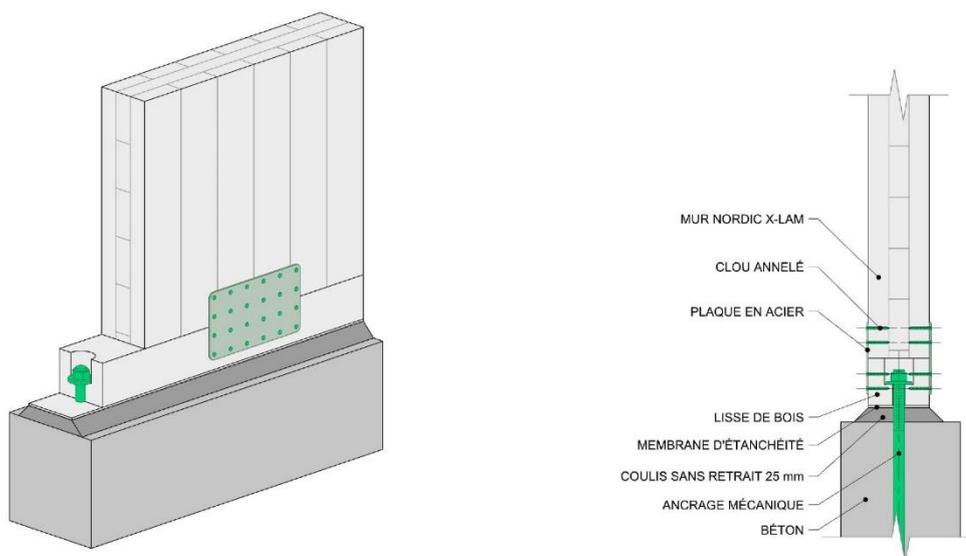


Figure 1.2 Mur sur lisse d'assise, plaque d'acier

Le présent document comporte 54 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

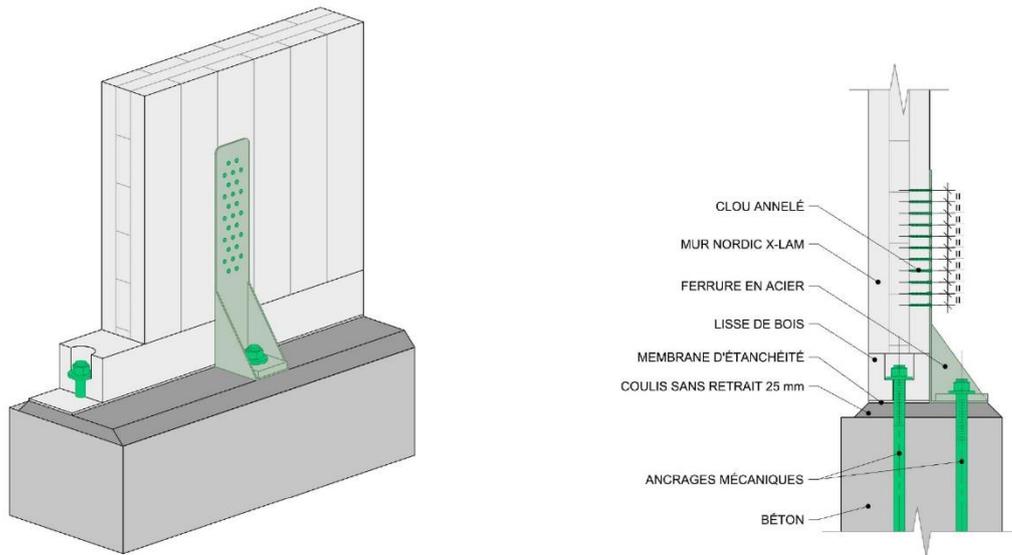


Figure 1.3 Mur sur lisse d'assise, ferrure de type *holddown*

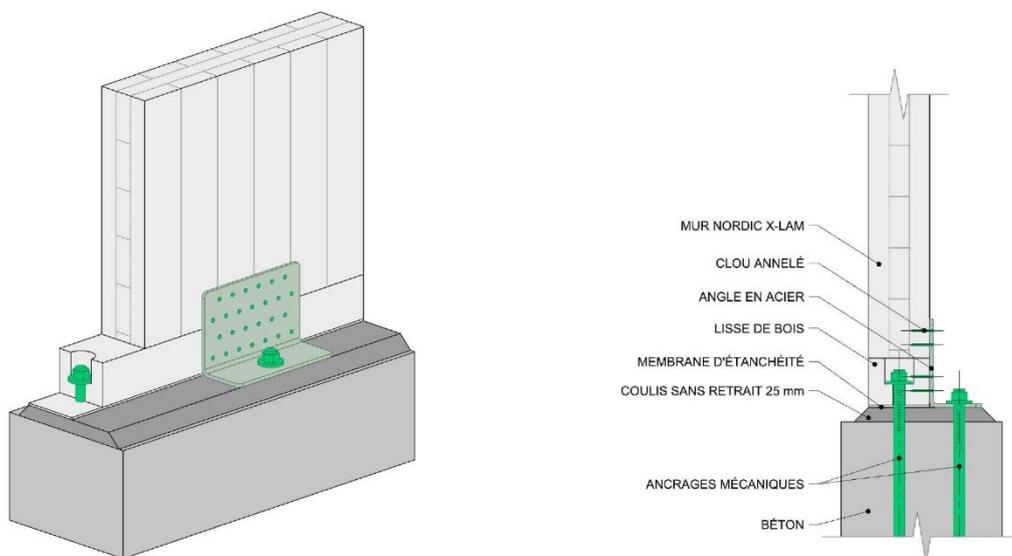


Figure 1.4 Mur sur lisse d'assise, angle en acier

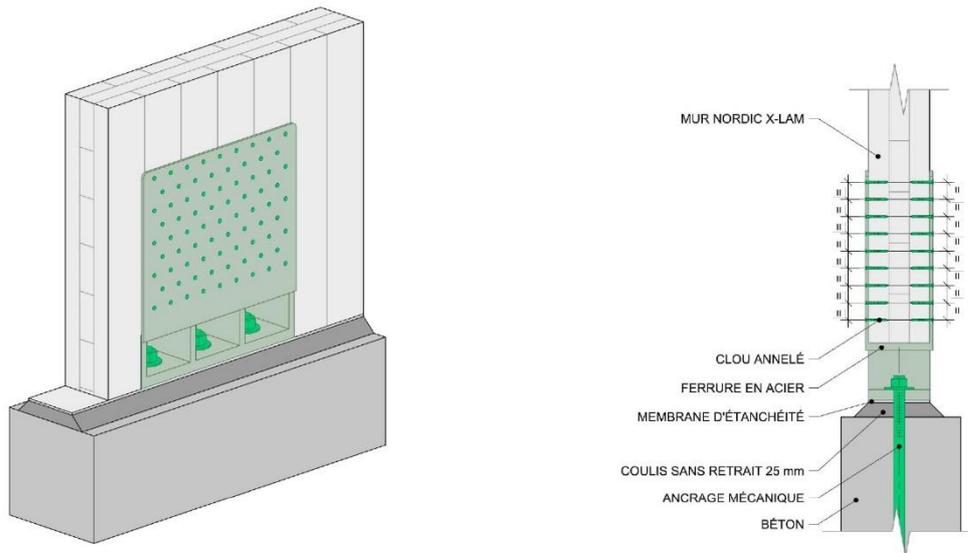


Figure 1.5 Mur sur fondation, ferrure de type *holdown*

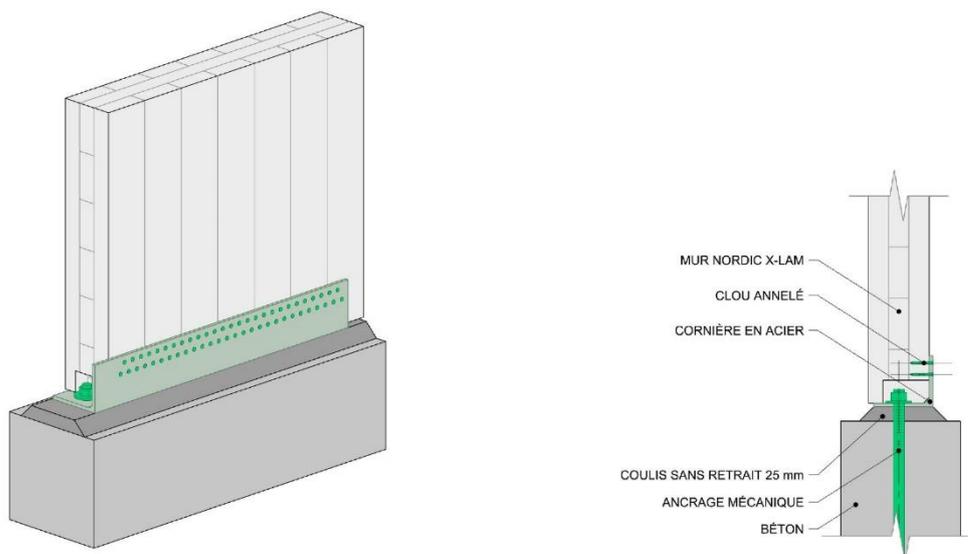
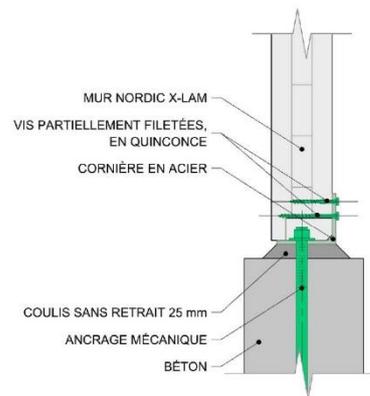
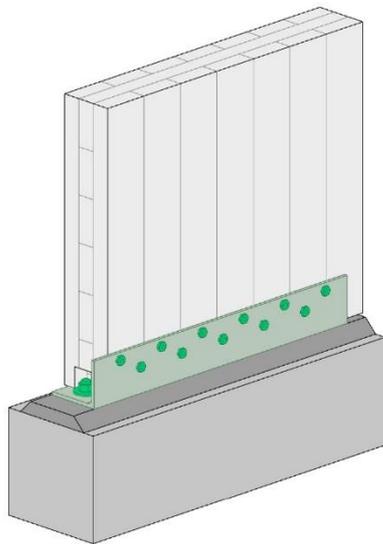


Figure 1.6 Mur sur fondation, cornière clouée

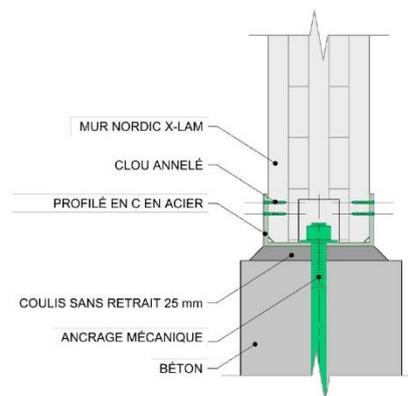
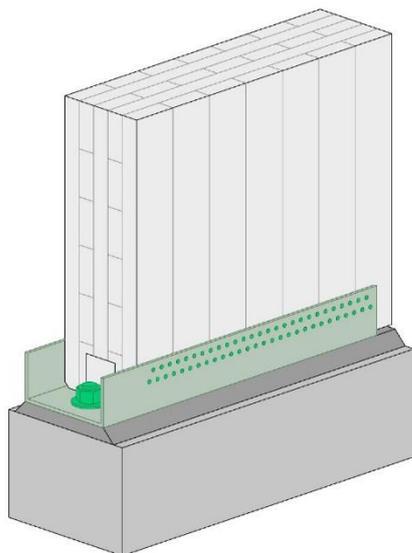
Le présent document comporte 54 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1



Note :
1. Ce détail d'assemblage offre une résistance aux efforts agissant perpendiculairement au mur de fondation.

Figure 1.7 Mur sur fondation, cornière vissée



Note :
1. Dans le cas d'un mur extérieur sur fondation, une attention particulière doit être portée à l'étanchéité à l'eau et au drainage de la jonction entre le mur et le profilé en C.

Figure 1.8 Mur sur fondation, profilé en C cloué

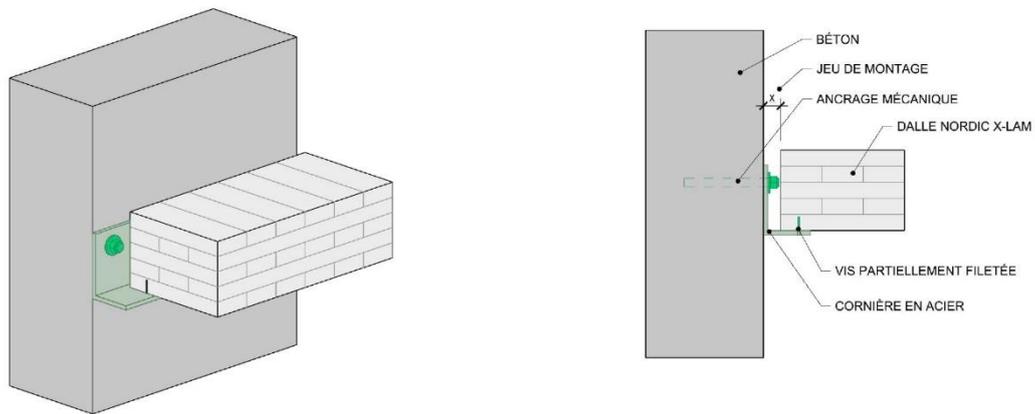


Figure 1.9 Plancher sur cornière contre mur de fondation

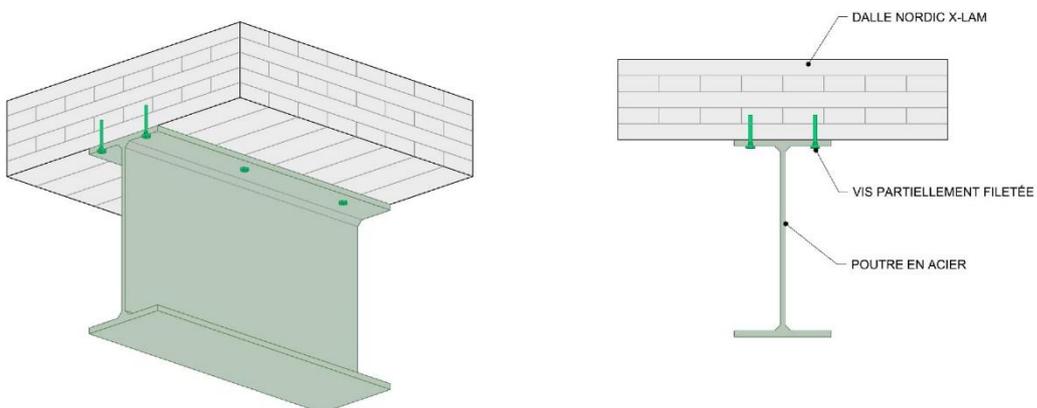


Figure 1.10 Plancher sur poutre en acier

Le présent document comporte 54 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

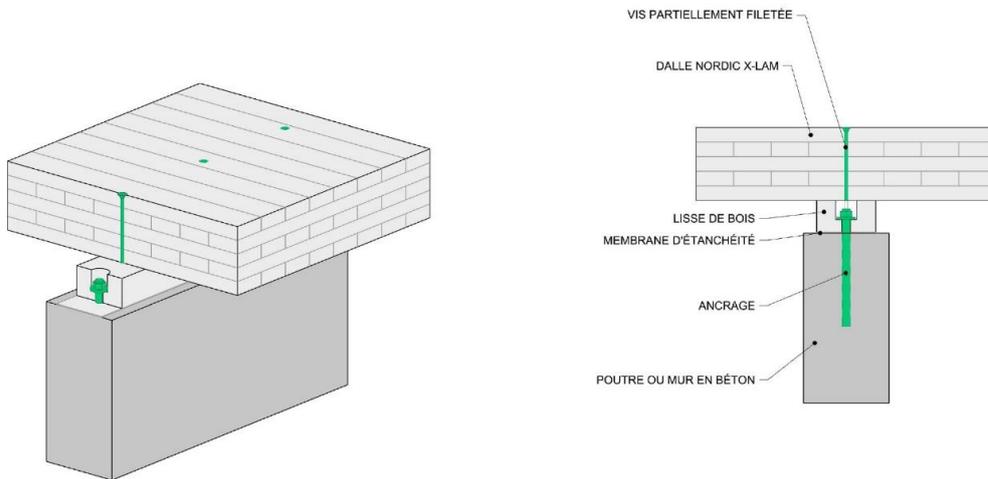


Figure 1.11 Plancher sur poutre ou mur de béton

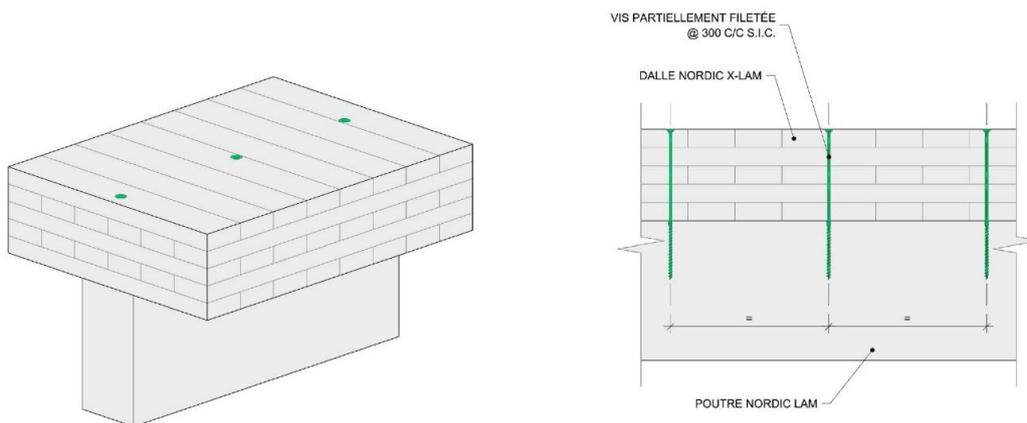


Figure 1.12 Plancher continu sur poutre

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2818_V1

Fin du rapport