Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **3.3/18-962_V1**

Annule et remplace l'Avis Technique 3/14-759

Panneaux structuraux en bois contrecollé-croisé, utilisés en mur et plancher

Cross laminated timber panels

DERIX X-LAM

Relevant de l'ETE	**ATE-11/0189**

Titulaire : W. u. J. Derix GmbH & Co.
Dam 63
D-41372 Niederkrüchten

Tél. : +49 (21 63) 89 88 - 0
Fax : +49 (21 63) 89 88 87
E-mail : info@derix.de
Internet : http://www.derix.de

Groupe Spécialisé n° 3.3

Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure et Produits

Publié le 16 novembre 2018

Commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Internet : www.ccfat.fr

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)

© CSTB 2018

Le Groupe Spécialisé n°3.3 « Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure » de la Commission Chargée de formuler des Avis Techniques, a examiné le 22 mai 2018, le procédé de panneaux structuraux en bois contrecollé-croisé, utilisés en mur et plancher DERIX X-LAM, présenté par la société DERIX. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. Cet Avis annule et remplace l'Avis 3/14-759. L'Avis a été formulé pour les utilisations en France Européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Les panneaux structuraux DERIX X-LAM sont des panneaux de grandes dimensions constitués de planches en bois massif, empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface mais non collées sur chant.

Les panneaux comportent de 3 à 11 plis. Deux plis successifs peuvent être dans la même direction pour certaines compositions comportant plus de 5 plis. Les panneaux sont symétriques dans leur composition de part et d'autre de l'axe neutre. Ils sont fabriqués en largeur maximum de 3,50 m et en longueur maximum de 17,8 m.

Leur épaisseur est comprise entre 60 et 400 mm.

Les panneaux structuraux DERIX X-LAM sont destinés à la réalisation de planchers et de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement. Ils peuvent indifféremment être associés entre eux au sein d'un même bâtiment ou utilisés pour plusieurs des fonctions visées.

1.2 Mise sur le marché

En application En application du Règlement (UE) n° 305/2011, les panneaux structuraux X-LAM font l'objet d'une déclaration des performances (DdP) établie par le fabricant sur la base de l'Évaluation Technique Européenne ETA-11/0189.

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

1.3 Identification

Les panneaux, ainsi que leur bon de livraison, font l'objet d'un marquage, une fois qu'ils ont satisfait les exigences décrites au §5.2 du Dossier Technique établi par le Demandeur, indiquant :

- Le logo DERIX ;
- Le nº du projet ;
- Le repérage permettant le montage de la pièce ;
- Le poids des éléments ;
- Lieu de fabrication.

Les produits sont assortis du marquage CE accompagné des informations prévues

2. AVIS

L'Avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique établi par le Demandeur joint, dans les conditions fixées aux Prescriptions Techniques (§2.3).

2.1 Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.3, à savoir les utilisations en planchers et murs porteurs et/ou à fonction de contreventement dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1er à la 3ème famille, de bureaux ou Établissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après. Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la règlementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction :

Le domaine d'emploi est limité à la réalisation de bâtiments R+3 ou 4 niveaux de surélévation, sans pour autant dépasser 18 m ;

Les panneaux structuraux DERIX X-LAM 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 de son annexe nationale et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

Pour la réalisation des murs porteurs et/ou à fonction de contreventement, le procédé est limité à la réalisation de bâtiments d'habitation ainsi qu'aux bâtiments industriels, agricoles et établissements recevant du public. Les limitations du domaine d'emploi résultent alors du respect de la réglementation en vigueur applicable à ces bâtiments, notamment par le Règlement de Sécurité pour la Construction.

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 EN 1991-1-1.

L'Avis est formulé pour les utilisations en France européenne, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

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

Les utilisations des panneaux DERIX X-LAM en support de couverture et support d'étanchéité ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis.

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

Les ouvrages enterrés en panneaux DERIX X-LAM sont exclus du domaine d'emploi.

L'avis est formulé en excluant la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles. Les revêtements fragiles doivent être mis en place en pose désolidarisée sur un procédé faisant l'objet d'un Avis technique visant les supports bois.

Les éléments de levage ne sont pas visés par cet Avis Technique.

La mise en œuvre d'un système d'isolation thermique extérieure sur les panneaux DERIX X-LAM doit faire l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois dans les limitations d'usage de celui-ci.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels W/n > 5g/m3, avec :

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

2.2 Appréciation sur le procédé

2.21 Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

Stabilité

La résistance et la stabilité du procédé sont normalement assurées dans le domaine d'emploi accepté sous réserve des dispositions complémentaires données aux Prescriptions Techniques (§2.3 ci-après et Annexe 1).

Sécurité en cas d'incendie

Résistance au feu

Conformément aux conditions prévues par l'Arrêté du 14 mars 2011 modifiant l'arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, les panneaux DERIX X-LAM, 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 de résistance au feu AL 13-124.

Réaction au feu

Les panneaux DERIX X-LAM bruts bénéficier d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2, d0 selon la norme NF EN 13501-1. L'adéquation entre ce classement et les exigences réglementaires doit être examinée au cas par cas en fonction du type de bâtiment et de l'emplacement du panneau dans l'ouvrage.

Propagation du feu aux façades

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

Pour participer au C+D les panneaux X-LAM 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-dessous du plancher (l'exigence est ramenée au degré de résistance requis de la structure si cette dernière est inférieure à 1h).

L'appréciation de laboratoire AL 13-124 précise dans quelles conditions ces exigences peuvent être atteintes.

Pose en zones sismiques

Le procédé DERIX X-LAM peut satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées aux Prescriptions Techniques.

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions. Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux DERIX X-LAM 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 DERIX doivent être respectés sur chantier.

Lors des phases provisoires, et tant que l'ensemble des éléments nécessaires au contreventement définitif de l'ouvrage ne sont pas mis en œuvre, la stabilité des panneaux DERIX X-LAM, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étaiement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction. D'une manière générale, et quelle que soit la fonction du panneau DERIX X-LAM dans l'ouvrage, la mise en œuvre des panneaux DERIX X-LAM impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

Le procédé dispose d'une Fiche de Données de Sécurité (FDS). L'objet de la FDS est d'informer l'utilisateur de ce procédé sur les dangers liés à son utilisation et sur les mesures préventives à adopter pour les éviter, notamment par le port d'équipements de protection individuelle (EPI).

Isolation thermique

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

Les panneaux DERIX X-LAM, peuvent nécessiter, selon leur emplacement dans l'ouvrage, la mise en œuvre d'une isolation thermique complémentaire.

Les valeurs et dispositions décrites dans les figures du Dossier Technique établi par le Demandeur sont données à titre indicatif et n'ont pas été examinées par les GS n°3.3, une étude devra être réalisée au cas par cas. Sur les figures sont indiqués les isolants qui sont prescrits dans le DTU 31.2-1-2 (CGM).

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du Panneau DERIX X-LAM exposée au climat intérieur (entre le panneau DERIX X-LAM et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de Sd du pare-vapeur sera au minimum de 18m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90m le cas contraire.

Isolation acoustique

Aucun essai de caractérisation des performances acoustiques n'a été réalisé. En conséquence les performances acoustiques du procédé n'ont pas été visées et l'utilisation du procédé devra être décidée au cas par cas en fonction des exigences règlementaires d'isolation acoustique.

Les panneaux DERIX X-LAM seuls, qu'ils soient utilisés en tant que murs ou planchers, ne permettent pas toujours de satisfaire les exigences en vigueur en matière d'isolation acoustique entre logements dans les bâtiments d'habitation. L'atteinte des critères d'isolation fixés par la réglementation nécessite parfois la mise en œuvre de matériaux d'isolation acoustique ou d'ouvrages complémentaires par exemple un plafond suspendu.

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

Cette fréquence peut être calculée par la formule

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

avec :

f_0 = la fréquence de résonance en Hz,

m_1 = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plancher brut,

m_2 = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plafond rapporté,

K = le coefficient de raideur dynamique du dispositif de suspension du plafond ; il s'exprime en N/m et il correspond au rapport de la force, en N, à appliquer, au déplacement qui en résulte pour le dispositif de suspension, déplacement exprimé en mètres (m).

Ce coefficient K doit être rapporté à 1 m² de plancher. Dans le cas particulier d'utilisation de suspentes très courtes et rigides, réalisées en fers plats fixés sur les faces latérales des poutres en bois (voir DTU 25.41 « Ouvrages en plaques de parement en plâtre »), on ne peut pas connaître avec précision le coefficient de raideur dynamique K, ni de ce fait, la fréquence de résonance f0. Dans ce cas, seul un essai permet de déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté.

Étanchéité à l'eau et à l'air

Les panneaux DERIX X-LAM eux-mêmes ne sont pas destinés à jouer un rôle vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau ni de l'étanchéité à l'air.

Données environnementales

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

Aspects sanitaires

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

2.22 Durabilité - Entretien

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les panneaux DERIX X-LAM aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée soit du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée, soit par l'application d'un traitement de préservation dans les conditions fixées au § 2.317 des prescriptions techniques.

Le deuxième décret n° 2006-591 d'application de la loi n° 99-471 du 8 juin 1999 tendant à protéger les acquéreurs et propriétaires d'immeubles contre les termites et autres insectes xylophages » - dite loi termites, suivi par l'arrêté du 16 février 2010 relatif à l'application des articles R.112-2 et R. 112-4 du code de la construction et de l'habitation, vise la protection des bois et des matériaux à base de bois participant à la solidité des ouvrages et mis en œuvre lors de la construction de bâtiments neufs ou de travaux d'aménagement. Les panneaux DERIX X-LAM répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données des Prescriptions Techniques (§ 2.317 ci-après).

Entretien et réparation

Tous percements réalisés après le chantier, et quelque soient leurs dimensions, ne pourront être réalisés qu'après l'obtention de l'accord du bureau d'études de structure.

2.23 Fabrication et contrôle

La fabrication des panneaux DERIX X-LAM est assurée exclusivement par la société DERIX à Niderkrûchten en Allemagne. Le suivi de la production est effectué dans le cadre des procédures internes d'autocontrôle et fait l'objet d'un contrôle externe au moins deux fois par an par Allemand Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine des Karlsruher Instituts für Technologie.

Le Titulaire transmettra l'ensemble des résultats au CSTB lors de la révision de l'Avis Technique.

2.3 Prescriptions techniques

2.31 Conditions de conception et de calcul

Lorsque des panneaux DERIX X-LAM 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.
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part. Les dispositifs de liaisons entre panneaux sont ceux indiqués au Dossier Technique établi par le Demandeur.

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

La conception et le calcul des panneaux DERIX X-LAM sont à la charge du bureau d'études techniques qui doit également fournir un plan de pose complet. DERIX prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre en mettant notamment à disposition des acteurs de la construction une liste de bureau d'études techniques disposant de l'expertise requise pour le dimensionnement des panneaux DERIX X-LAM en respect des prescriptions techniques particulières du présent Avis et des normes en vigueur.

Un logiciel de pré-dimensionnement est tenu à disposition du bureau d'étude BSM par le titulaire afin de vérifier en phase définitive les éléments porteurs verticaux et horizontaux.

2.311 Vérifications en phase définitive des éléments porteurs horizontaux

Les vérifications de la résistance sous l'effet du moment fléchissant et de l'effort tranchant peuvent être menées comme dit au §6.112 du Dossier Technique établi par le Demandeur, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §6.113 du Dossier Technique établi par le Demandeur. Il est tenu compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon l'Annexe 1 de la partie Avis.

La flèche finale ne pourra excéder L/250 où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux X-LAM.

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder L/300 où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux X-LAM.

- En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des éléments X-LAM les valeurs suivantes :

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

- Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- Soit L/500 de la portée si celle-ci est ≤ à 7,0m ; 0,7 cm + L/1 000 de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m ;

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

- Soit L/350 de la portée si celle-ci est ≤ 7,0 m ;
- Soit 1 cm + L/700 de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.

On appelle flèche active la part des déformations du plancher risquant de provoquer des désordres dans un ouvrage considéré généralement supporté (par exemple : cloison, carrelage, etc…). C'est donc l'accroissement de la flèche, ou fléchissement, pris par le plancher à partir de l'achèvement de l'ouvrage concerné. Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des charges ponctuelles.

2.312 Transmission des charges des éléments porteurs horizontaux à leurs appuis

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon §6.2 et §6.3 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

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

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul est donné dans §6.31 du Dossier Technique établi par le Demandeur. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, la charge verticale est considérée comme excentrée. Cet excentrement sera pris égal à la plus grande des deux grandes valeurs suivantes : 1/6 de l'épaisseur du panneau ou l'excentricité réelle.

Lorsque les panneaux DERIX X-LAM utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §6.31 du dossier technique établi par le Demandeur).

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 §6.323 du Dossier Technique établi par le Demandeur pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

Pour les éléments porteurs verticaux, la longueur des porte-à-faux sera limitée à 20% de la longueur de la travée adjacente d'équilibre. La flèche limite finale admissible est de L/500, L étant la longueur du porte-à-faux.

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

Les vérifications de la résistance sous l'effet des contraintes cisaillement peuvent être menées comme dit au §6.22 du Dossier Technique établi par le Demandeur, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §6.24 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

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

Lorsque des panneaux DERIX X-LAM munis d'ouvertures 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 ;
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux. Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part. Les dispositifs de liaisons entre panneaux sont ceux indiqués au Dossier Technique établi par le Demandeur.

2.315 Conception des assemblages et des liaisons

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux DERIX X-LAM entre eux ou des panneaux DERIX X-LAM à d'autres éléments de structure en matériaux bois doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592 ou faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne. Les liaisons entre panneaux doivent être réalisées avec des éléments permettant la reprise des efforts de traction transversale (LVL, contreplaqué, panneau 3 plis), à l'exclusion du bois massif.

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

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés en regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et du paragraphe 6.5 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

Sauf justifications particulière, les organes d'assemblages entre panneaux dans leur plan doivent être implantés avec un entraxe de 30cm au maximum.

Le dimensionnement des assemblages devra tenir compte des efforts additionnels dus à l'excentrement des dispositifs de fixation par rapport au centre de gravité de la section du mur et/ou du plancher.

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

- d'un marquage CE selon la NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- d'un ETA ou d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement.».
- Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1.

2.316 Utilisation en zone sismique

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux DERIX X-LAM doit être menée suivant le principe de comportement de structure soit dissipatif (Classe de ductilité M) soit faiblement dissipatif (Classe de ductilité L) conformément à la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §8.1.3 et §8.6 (2)P). Les effets des actions sont calculés sur la base de la méthode des forces latérales équivalentes du §4.3.3.2 ou de la réponse modale du §4.3.3.3 de la norme NF EN 1998-1-1. Le spectre de calcul est déterminé à partir du spectre en appliquant un coefficient de comportement q=2,0 pour la classe DCM et q=1,5 pour la classe DCL.

Les critères de régularité en plan et en élévation de la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §4.2.3) doivent être strictement respectés et faire l'objet d'une vérification. Toutefois, les bâtiments non-réguliers en élévation sont admis, en menant les justifications avec un coefficient de comportement abaissé de 20%.

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

La conception de l'ouvrage suivant le principe de comportement de structure dissipatif (DCM) impose de porter la plus grande attention à la conception des assemblages entre panneaux de murs et de planchers (vis de liaison, équerres, etc.) 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 la norme NF EN 1995-1-1 au §8.2 en s'assurant que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage ; les organes de fixation de type broches, boulons et pointes lisses n'est pas admise ;
- De s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mises en œuvre bénéficient d'un Agrément Technique Européen et fassent l'objet d'un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 et démontrant d'un comportement cyclique qui satisfasse les critères fixées de la classe de ductilité M au §8.3(3)P de la norme NF EN 1998-1-1 ;
- De s'assurer que le dimensionnement des ancrages de panneaux sera réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de sur-résistance pour l'ancrage tel que défini au §4.4.2.6 de cette norme ;
- De s'assurer dans les zones de non-dissipation (entre panneaux de murs et soubassement, jonction murs/planchers et entre panneaux de planchers) que le dimensionnement des ancrages de panneaux sera réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de sur-résistance pour l'ancrage γrd = 1,3 pour les murs formés d'un seul panneau continu et γrd = 1,6 pour les murs formés de plusieurs panneaux assemblés par des vis.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux DERIX X-LAM utilisés en plancher doivent être organisés afin d'observer les points suivants :

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme,
- La fonction tirant-buton horizontal, assurée uniquement par les plis orientés dans le sens de l'effort à reprendre. La valeur de l'effort tirant-buton doit être déterminée par une étude sismique spécifique. Cet effort sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 kN/ml ou l'effort de tirant-buton déterminée ;
- Par calcul la fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits ;
- Assurer la continuité du chainage dans la direction transversale aux panneaux par rajout d'un élément reliant les panneaux ;
- La couture plancher/mur en périphérie devra notamment être réalisée avec à minima une fixation justifiée tous les 30 cm.
- La justification des panneaux utilisés en murs de contreventement en zone sismique doit être effectuée en :
- Menant les vérifications précisées au §2 de l'Annexe 1 ;
- Réalisant la fixation au support béton des panneaux au soubassement béton par des chevilles bénéficiant d'un Agrément Technique Européen pour une utilisation en béton fissuré ;
- Limiter la capacité résistante en cisaillement de ces chevilles à la moitié de celles indiquée dans l'ETA sous sollicitation statique ;
- Considérer un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.

2.317 Traitement de préservation

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du panneau DERIX X-LAM 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 DERIX X-LAM.

Conformément à la réglementation en vigueur, les panneaux DERIX X-LAM qui participent à la solidité des bâtiments devront être protégés par une durabilité conférée ou naturelle contre les insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire et en complément, contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris par l'application de l'article L. 133-5.

2.318 Dispositions constructives générales

Lorsque les panneaux DERIX X-LAM sont utilisés pour la réalisation de bâtiments entrant dans le domaine d'application du DTU 31.2, c'est à dire d'une manière générale pour les bâtiments dont la structure principale porteuse est en bois, les dispositions non spécifiquement visées dans le cadre de cet Avis Technique doivent être conformes aux prescriptions du DTU 31.2 pour la conception, aux prescriptions des Eurocodes pour le calcul.

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du DERIX X-LAM exposée au climat intérieur (entre le panneau DERIX X-LAM 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.

2.32 Conditions de fabrication

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

Le suivi de la production est effectué :

Dans le cadre d'une procédure interne d'autocontrôle dont les étapes sont indiquées dans le §5.2 du Dossier Technique établi par le Demandeur. Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les planches d'une part et panneaux DERIX X-LAM finis d'autre part indiquant notamment :

- La procédure de réception et le stockage des matières premières
- La conformité du bois au classement mécanique annoncé selon la norme NF EN 338. Une procédure écrite doit définir les moyens mis en œuvre pour assurer la conformité de la qualité des bois au cahier des charges définis dans le Dossier Technique établi par le Demandeur. Les bois utilisés doivent bénéficier d'un certificat visant à justifier de leur conformité aux normes en vigueur et en particulier concernant la classe de résistance annoncée ; l'essence des bois utilisée sera consignée au cahier des charges ;
- Les tolérances géométriques minimum à respecter pour les planches de bois ;
- Le taux d'humidité nominal des planches de bois avant assemblage des plis est fixé à 12% ±2%. Une procédure doit définir les contrôles, leur fréquence et leur enregistrement.
- Le contrôle réalisé afin de s'assurer du bon encollage et du bon pressage conformément au Contrôle de Production en Usine.
- Le contrôle visuel sur chaque élément fini

L'ensemble des résultats ainsi que les dispositions prises en cas de résultat non conforme doivent être consignés sur un cahier ou sur des fiches de contrôle.

Dans le cadre d'une procédure de contrôle externe réalisée par l'organisme Allemand Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine des Karlsruher Instituts für Technologie permettant de vérifier la conformité des performances du panneau (valeur de résistance en cisaillement roulant notamment).

La synthèse de ce contrôle externe doit être transmise lors de la révision de l'Avis Technique au CSTB.

2.33 Conditions de mise en œuvre

2.331 Sollicitations perpendiculaires au fil

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

2.332 Manutention et stabilité provisoire

Le protocole de montage devra préciser les modes de manutention et des points de levage (type, nombre, résistance), au cas par cas ainsi que les dispositifs pour assurer leur stabilité provisoire. Ces éléments seront clairement identifiés sur les panneaux livrés sur chantier.

Les éléments de levage ne sont pas visés par cet Avis Technique.

2.333 Plans d'exécution

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

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 2.1) est appréciée favorablement.

Validité

À compter de la date de publication présente en première page et jusqu'au 31/05/2022

Pour le Groupe Spécialisé n° 3.3
Le Président

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le groupe attire l'attention sur le fait que l'avis de laboratoire AL13-124 doit être respecté et qu'il est valable uniquement pour des ouvrages dont le taux de travail à l'ELU, calculé avec la pondération des charges en situation d'incendie, est limité à 40%.

Ce dimensionnement doit tenir compte, pour les différentes phases du projet, des exigences relatives à la stabilité des éléments d'une part et à la stabilité générale de l'ouvrage d'autre part, et des rigidités de l'ensemble des éléments participant au contreventement.

Dans le cas de l'association de structures de rigidités différentes, il est nécessaire d'en tenir compte pour la détermination des efforts de contreventement.

En outre, compte tenu de ce que les éléments DERIX X-LAM 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.

Il est rappelé que le DTU 31.2 préconise la mise en œuvre d'une coupure anti-capillarité en pied de panneaux fixés au soubassement.

Comme pour toutes les structures légères, les performances acoustiques de l'ouvrage doivent être vérifiées in situ. En effet, les outils de calcul ne permettent pas actuellement de prévoir la performance acoustique à la conception des constructions légères.

Le Rapporteur du Groupe
Spécialisé n°3.3

Annexe 1 à l'Avis Technique

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

1. Dimensionnement des planchers

1.1 Données

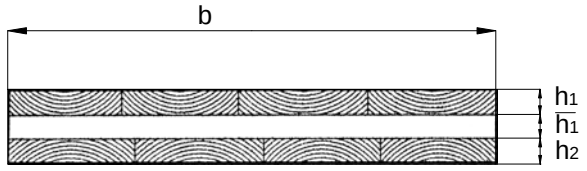


Figure 1 : Coupe transversale d'un panneau 3 plis.

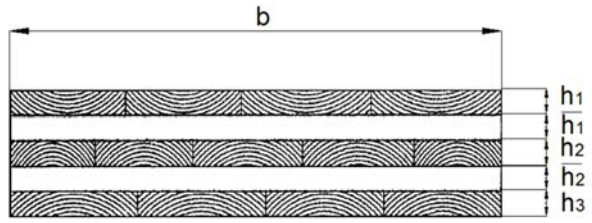


Figure 2 : Coupe transversale d'un panneau 5 plis.

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

Résistance de calcul à la flexion $f_{m,0,d} = k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_{m,l}$

Résistance de calcul à la traction $f_{t,0,d} = k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_{m,l}$

Résistance de calcul au cisaillement $f_{R,d} = k_{mod} \times f_{R,k} / \gamma_{m,l}$

M_u : moment de flexion de calcul maximum

V_u : effort tranchant maximum de dimensionnement

1.2 Conception

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

Lorsque les panneaux DERIX X-LAM utilisés comme planchers porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. §6.2 du dossier technique établi par le Demandeur).

Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon les valeurs définies pour le contreplaqué dans la norme NF EN 1995-1-1 et au §6.2 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

1.3 Vérifications à l'ELU instantané

Instantané – charges à court terme

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

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

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b \cdot h_i$$

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

$$\gamma_2 = 1$$

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

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

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

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

Les contraintes normales sont prises selon

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

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

Vérification de la traction et flexion combinée des couches de bois

$$\frac{\sigma^i_{t,0,d} + \sigma^i_{m,0,d}}{f_{m,o,d}} \leq 1$$

Vérification du cisaillement roulant

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

Avec

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

$$S_i = b.h_i.x_i$$

b : largeur du panneau (mm)

hi : épaisseur du pli (mm)

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

Avec la valeur caractéristique de résistance au cisaillement roulant de 1.0 N/mm² définie dans l'ETA 11/0189.

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 cisail-

lements entre panneaux adjacents. Les détails de jonctions entre panneaux sont indiqués dans les dispositions constructives 5 annexés au Dossier Technique établi par le Demandeur.

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

1.4 Vérifications à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient ψ2 · kdef approprié, puis additionnées pour les vérifications.

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

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

avec $G_{R,mean}$ le module de cisaillement roulant moyen défini dans l'ETA 11/0189 et pris égale à 50 MPa

Avec ψ2 = 1 pour les charges permanentes.

1.5 Vérifications ELS

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

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

1.52 Caractéristiques mécaniques Final (charge à long terme - permanentes)

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

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

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

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

avec G_{mean} le module de cisaillement moyen du panneau DERIX X-LAM pris égal à 50 MPa.

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

1.54 Vérifications flèche totale – absolue

La flèche finale ne pourra excéder L/250 où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux DERIX x-lam.

1.55 Vérifications flèche instantanée

La flèche instantanée due aux actions variables ne pourra excéder L/300 où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux DERIX x-lam.

1.56 Vérifications flèche active

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des éléments DERIX X-LAM, les valeurs suivantes :

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

- Soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- Soit L/500 de la portée si celle-ci est ≤ à 7,0m ; 0,7 cm + L/1 000 de la portée si celle-ci est supérieure à 7,0 m.

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

- Soit L/350 de la portée si celle-ci est ≤ 7,00 m ;
- Soit 1 cm + L/700 de la portée si celle-ci est supérieure à 7,00 m.

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

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux DERIX x-lam.

1.6 Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontale

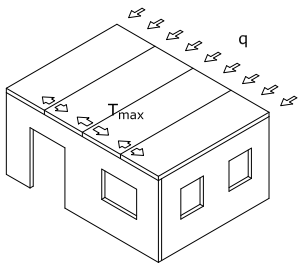
Dans les bâtiments comportant des planchers en DERIX-X-LAM, les diaphragmes de plancher se composent de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur. Les efforts de cisaillement dus aux charges horizontales que sont le vent et le séisme sont transmises par les assemblages de type mi-bois, couvre joint ou rainure fausse languette décrits dans les § 6.33 et 6.43 du dossier technique établi par le Demandeur.

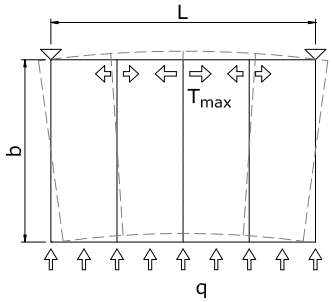
La valeur des efforts à transmettre par ces assemblages est calculée en modélisant le diaphragme de plancher comme une poutre plate orientée perpendiculairement aux panneaux DERIX-X-LAM. Le diagramme des efforts tranchants dans cette poutre peut être déterminé et les valeurs des réactions « aux appuis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

Par ailleurs, l'effort horizontal F, parallèle au sens de portée des panneaux DERIX X-LAM, induit une flexion du diaphragme qui tend à solliciter en traction les joints entre panneaux situés sur la face de la poutre opposée à l'action.

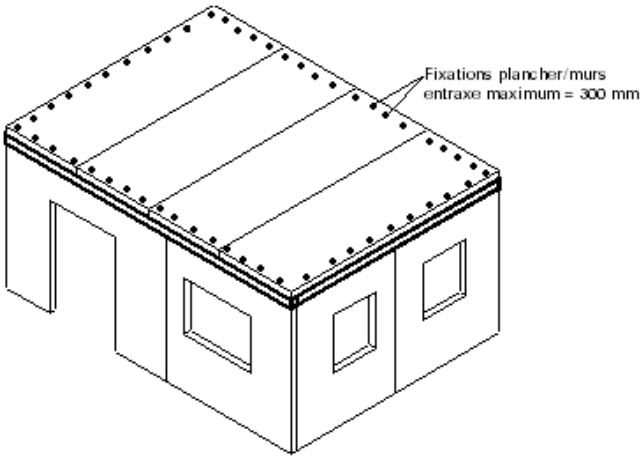
Ces efforts de traction sont repris conjointement par

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





Dans le cas de planchers reposant sur des murs composés de plusieurs panneaux, il est nécessaire de recréer un chainage en tête de mur par le positionnement d'une lisse de répartition.



2. Dimensionnement des murs

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

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

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, la charge verticale est considérée comme excentrée. Cet excentrement sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : de 1/6 de l'épaisseur du panneau ou l'excentricité réelle.

Lorsque les panneaux DERIX x-lam utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §6.3 du dossier technique établi par le Demandeur).

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 §6.234 du Dossier Technique établi par le Demandeur pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

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

Lorsque des panneaux DERIX X-LAM 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, de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part.

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

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

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

$$\tau_{2,d} = \frac{V_d}{b \cdot t_{\min}} \leq f_{v,2,d}(N/mm^2) \text{ avec } f_{v,2,k} = 5{,}0 N/mm^2$$

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

Avec :

b la largeur du panneau (mm)

t l'épaisseur du panneau (mm)

Vd effort tranchant agissant sur le panneau (N)

tmin somme des épaisseurs de plis transversaux ou des plis longitudinaux, la plus petite des deux valeurs étant à retenir (mm)

a largeur de la planche la moins large par plan de croisement (mm)

Ip moment d'inertie polaire des sections croisées (mm4)

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

Les valeurs respectives de capacité résistante caractéristiques en cisaillement issues de ces vérifications sont données pour chaque composition de panneau dans le tableau A-2 en Annexe du Dossier Technique établi par le Demandeur.

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

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Principe et domaine d'emploi proposé

Les panneaux structuraux DERIX X-LAM sont des panneaux de grandes dimensions constitués de planches en bois massif, empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface et non collées sur chant.

Les plis extérieurs sont toujours orientés dans le sens de l'effort (plis extérieurs verticaux pour les murs et plis extérieurs longitudinaux dans le sens de la portée pour les planchers).

Des structures de section avec deux couches longitudinales adjacentes sont possibles. (cf. §4.1).

La disposition croisée des planches longitudinales et transversales permet de réduire considérablement les variations dimensionnelles et de reprendre efficacement les efforts dans les deux directions.

Les panneaux structuraux DERIX X-LAM 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 de son annexe nationale et en classes d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

Le domaine d'emploi visé, à savoir les utilisations en planchers et murs porteurs et/ou à fonction de contreventement dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1er à la 3ème famille, de bureaux ou Établissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après. Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la règlementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction.

Le domaine d'emploi est limité à la réalisation de bâtiments R+3 ou 4 niveaux de surélévation, sans pour autant dépasser 18 m ;

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 EN 1991-1-1.

L'utilisation en zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est visée.

Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été étudiées.

Les utilisations des panneaux DERIX X-LAM en support de couverture et support d'étanchéité ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis.

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

Les ouvrages enterrés en panneaux DERIX X-LAM sont exclus du domaine d'emploi.

Le domaine d'emploi visé exclue la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles. Les revêtements fragiles doivent être mis en place en pose désolidarisée sur un procédé faisant l'objet d'un Avis technique visant les supports bois.

Les éléments de levage ne sont pas visés.

La mise en œuvre d'un système d'isolation thermique extérieure sur les panneaux DERIX X-LAM doit faire l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois dans les limitations d'usage de celui-ci.

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 > 5g/m3, avec :

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

2. Identification et marquage

Les panneaux font l'objet d'un marquage á l'encre, indiquant :

- Le logo Derix ;
- Numéro de commande ;
- Sorte de bois ;
- Client ;
- Type de panneau ;
- Numero ATG (Agrément Technique Générale) ;
- Marquage CE ;
- Date de collage ;
- Largeur et qualité de la surface ;
- Longueur de l´élément de construction ;
- Classe de résistance.

3. Définition des matériaux

3.1 Planches/plis en bois

3.11 Types d'essences utilisées

Seules les planches en bois massif conformes à la norme NF EN 14081 sont utilisées pour la réalisation des panneaux DERIX X-LAM. Elles sont essentiellement en épicéa et elles peuvent être également en pin, en sapin ou mélèze à l'exclusion du Douglas.

3.12 Caractéristiques géométriques des planches

Les planches utilisées ont une épaisseur comprise entre 15 et 45 mm pour les plis longitudinaux et entre 15 et 40 mm pour les plis transversaux. Les épaisseurs de panneaux sont de 60 mm minimum. La largeur des planches est comprise entre 80 et 260 mm. La tolérance sur l'épaisseur des planches après rabotage est de ±0,15 mm entre deux points d'une même planche et entre planches.

3.13 Caractéristiques mécaniques des planches

Les planches utilisées pour la production X-LAM sont classées par machine ou visuellement.

Au moins 90% des planches correspondent à la classe de résistance C24 minimum selon la norme EN 338 et EN 14081-1. Dans chaque couche jusqu'à 10% des planches utilisées peuvent être de la classe de résistance C16.

3.2 Colles

Pour le collage des couches de planches entre elles et pour l´aboutage, une colle de type I selon la norme EN 301 à base de résine de mélamine est utilisée.

4. Description des panneaux

4.1 Géométrie des panneaux

Les panneaux DERIX X-LAM ont les dimensions suivantes :

Longueurs comprises entre 6,0-17,8 m

Largeur jusqu'à 3,50 m

Épaisseur totale de 60-400 mm

Les panneaux DERIX X-LAM sont constitués de plis faits avec des planches en bois massif aboutées. L'aboutage des planches est réalisé selon la norme NF EN 14080. Les plis extérieurs des 2 faces opposées des panneaux sont orientées dans la même direction.

Le nombre de plis est compris entre 3 et 11 (jusqu'à 9 plis en murs et 11 plis en plancher de façon courante). Deux plis successifs peuvent être dans la même direction pour certaines compositions comportant plus de 5 plis. Les panneaux sont symétriques dans leur composition de part et d'autre de l'axe neutre

4.2 Caractéristiques physiques des panneaux

Masse volumique des panneaux :

ρm= 420 kg/m³

Variation dans le plan du panneau :

0.015% pour 1% de variation d'humidité du bois.

Variation dans l'épaisseur du panneau :

0.2% pour 1% de variation d'humidité du bois.

Coefficient de conductibilité thermique :

λ =0.13W/m.K.

Capacité calorifique massique :

C =1.6kJ/kg°K.

Résistance à la migration de vapeur d'eau

μ = 20-50 g/m.h.mm Hg

5. Fabrication et contrôle

5.1 Fabrication

La fabrication des panneaux X-LAM est effectuée dans l'usine de la societe W. u. J. Derix GmbH & Co. à Niederkrüchten en Allemagne.

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

Stockage des planches destinées à la fabrication des panneaux à une humidité de 12 ± 2 %.

Stockage des planches dans l´usine pour la fabrication des éléments X-LAM avec une humidité du bois de 12% ±2 %.

L´aboutage des planches dans la direction longitudinale

- Détermination de l´humidité du bois et l´élimination des planches, qui ne respectent pas les tolérances d'humidité ;
- Détermination du gauchissement et positionnement des planches afin de les orienter avec la face plane vers le haut. Pré-rabotage ;
- Attribution d'une classe de résistance et purge des défauts ;
- Application de colle et pressage ;

Fabrication des éléments X-LAM

- Regroupement des planches servant pour les couches transversales et mise à longueur ;
- Regroupement des planches servant pour les couches longitudinales et mise à longueur ;
- Prise en charge des couches longitudinales et transversales depuis le stock intermédiaire vers la presse ;
- Application de la colle avec un grammage de 250 jusqu´à 350 g/m² (Tolérance de ±5 g/m²) ;
- Pressage à la presse hydraulique avec une pression régulière de 0,6 N/mm² ;
- Traitement de finition et usinage le cas échéant.

5.2 Contrôle de la fabrication

La fabrication des panneaux X-LAM est soumise d'une part à une procédure de contrôle interne en usine mise en œuvre par le fabricant, d'autre part à un contrôle externe assuré par l'organisme allemand Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine des Karlsruher Instituts für Technologie.

5.21 Contrôle interne de fabrication

Le contrôle interne de la fabrication, destiné à assurer la maîtrise de la qualité, doit être effectué en continu et vise à assurer la conformité de la production au présent certificat. Le contrôle interne doit au moins porter sur :

- Classement des bois selon la norme EN 14081-1 ;
- Conformité de la colle avec les données dans l´agrément selon les instructions indiquées dans l'ETA du DIBt ;
- Contrôle des dimensions, tolérances et nature de la surface des éléments X-LAM ;
- Test de la résistance caractéristique à la flexion selon la norme EN 408 ;
- Essai au cisaillement des éléments X-LAM selon la norme EN 789 ;
- Test de résistance des aboutages :
  - Essai à la flexion selon la norme EN 386 ;
  - Essai de traction selon la norme EN 408 ;
- Test de résistance du collage par :
  - Essai de délamination selon la norme EN 391 ;
  - Essai de la résistance au cisaillement conformément à la norme DIN 52187 ;

La contrôle de production en usine est continuellement documenté est conserver pour au moins cinq années.

5.22 Contrôle externe de fabrication

Le contrôle externe effectué par les deux organismes comporte les tâches suivantes :

- Contrôle de la documentation du contrôle de production en usine ;
- Contrôle de la production en cours (Triage, Aboutage, Application de colle) ;
- Prélèvement d'échantillon pour des tests dans laboratoire de l'organisme de contrôle ;
- Commentaires sur les résultats du contrôle de la production en usine.

6. Dimensionnement

Le dimensionnement des éléments X-LAM est basé sur la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale, sur l´Évaluation technique européenne ETA-11/0189 et sur les travaux de recherche de l'Université Technique de Graz. Le logiciel de prédimensionnement X-LAM Designer est fourni sur le site internet, il est également basé sur le concept de calcul présenté dans le chapitre 6 et les références citées.

Le logiciel X-LAM Designer est utilisé dans le but de réaliser un prédimensionnement des panneaux X-LAM suivant la méthode des poutres d'une à sept travées. Le logiciel reprend toutes les caractéristiques des panneaux définies en Annexe. Des panneaux de 3 à 11 plis et des épaisseurs comprises de 60 à 400 mm. Il est possible d'insérer les charges permanentes, quasi-permanentes et accidentelles. Des vérifications à l'ELU et à l'ELS sont ensuite réalisées conformément aux Eurocodes.

La liste des bureaux d'études techniques disposant de l'expertise requise pour le dimensionnement des panneaux DERIX X-LAM est disponible sur le site de la société DERIX.

Le coefficient partiel de sécurité pour les propriétés de rigidité et de résistance est défini avec γM = 1,3. Les Coefficients de la modification pour le X-LAM sont ceux correspondants au bois massif, voir Tableau 1.

Tableau 1: Facteurs de modification pour bois massif selon la norme NF EN 1995-1-1

k_{mod} pour bois massif selon la norme NF EN 14081-1					
Classe de service	Classe de durée de chargement				
	Action permanent	Action long terme	Action moyen terme	Action court terme	Action instantanée
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10

6.1 Hypothèses de calcul des valeurs de résistance et de rigidité du DERIX X-LAM

La méthode présentée dans l'Annexe B de l'EC5 est utilisé classiquement pour des panneaux allant jusqu'à 5 plis. Au-delà de 5 plis, c'est la méthode Timoshenko détaillée ci-après qui est utilisée.

6.11 Paramètres de rigidité pour les éléments portants horizontaux (charge hors du plan du panneau)

La rigidité en flexion K_{CLT} pour un élément X-LAM est calculée en considérant l´orientation des plis croisés d'où hétérogénéité des propriétés. En raison du rapport élevé $E_{0,mean}/E_{90,mean} \approx 30$, on peut définir $E_{90} = 0$ pour le calcul.

$$K_{CLT} = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_i^2)$$

I_i moment d´inertie propre de la position i ;

E_i module d´élasticité de la position i, en fonction de l´orientation des plis ;

A_i surface de section transversale de la position i ;

e_i écart entre le centre de gravité de l´élément X-LAM et de la position i.

La rigidité en cisaillement S_{CLT} dans le plan en cas de charge hors plan du panneau est calculée comme suit :

$$S_{CLT} = S_{tot} \cdot \kappa$$

$$S_{tot} = \sum (G_i \cdot b_i \cdot t_i) = \sum (G_i \cdot A_i)$$

$$\kappa = \frac{1}{S_{tot} \cdot \frac{1}{K_{CLT}^2} \cdot \int_{t_{CLT}} \frac{S^2(z, E(z))}{G(z) \cdot b(z)} dz}$$

S_{tot}	rigidité en cisaillement d´une section sans voussure ;
κ	facteur de correction de cisaillement pour la section jointée ;
G_i	module de cisaillement de la position i (Gi, Gr,i), en fonction de l´orientation ;
b_i	largeur à la position i ;
t_i	épaisseur à la position i ;
$S(z, E(z))$	moment statique, en fonction de la distance z ;
$G(z)$	module de cisaillement, en fonction de la distance z ;
$b(z)$	largeur, en fonction de la distance z.

La rigidité en torsion des éléments X-LAM se calcule avec pour hypothèse qu'il n´y pas de compression des chants du panneau et qu'une apparition de fissures dans la section est possible comme suit :

$$D_{xy}^* = G_{xy}^* \cdot \frac{t_{CLT}^3}{12} = \kappa_{CLT} \cdot G_{0,mean} \cdot \frac{t_{CLT}^3}{12} = \kappa_{CLT} \cdot D_{xy}$$

D_{xy}	rigidité contre la torsion d´un panneau homogène avec un matériau orthotrope avec compression des chants et sans fissures ;
D_{xy}^*	rigidité contre la torsion réduite du X-LAM sans compression des chants et/ou avec fissures ;
G_{xy}^*	module de cisaillement réduit du X-LAM sans compression des chants et/ou avec fissures ;
κ_{CLT}	Facteur de réduction de la rigidité contre la torsion = 0,65 pour ≤ 7s ;
t_{CLT}	épaisseur de l´élément X-LAM.

Le facteur de réduction κ_{CLT} dépend du rapport entre l'épaisseur et la largeur du panneau et de la structure du panneau contrecollé (nombre de plis). Le facteur de réduction κ_{CLT} est défini approximativement pour une structure allant jusqu´à sept plis à $\kappa_{CLT} = 0{,}65$, c´est-à-dire que la dépendance du facteur de réduction à la structure du X-LAM est négligée. Dans et, des précisions concernant la détermination des facteurs de réduction sont données.

6.12 Paramètres de rigidité pour les éléments portants verticaux (charge dans le plan du panneau)

La rigidité de cisaillement $S_{x,y}$ en cas de charge dans le plan du panneau se calcule comme suit :

$$S_{x,y} = G^* \cdot t_{CLT}$$

$$G^* = G_{0,mean} \cdot \kappa_{CLT} \text{ avec } \kappa_{CLT} = 0{,}65$$

$G_{0,mean}$	Valeur moyen du module de cisaillement du matériel de base (panneau) ;
t_{CLT}	épaisseur de l´élément X-LAM ;
κ_{CLT}	Facteur de réduction de rigidité de cisaillement dans le plan = 0,65 pour ≤ 7s.

Le facteur de réduction κ_{CLT} pour la rigidité de cisaillement du panneau est le même que pour la rigidité en torsion $\kappa_{CLT} = 0{,}65$.

La rigidité en allongement $(EA)_{ef}$ (rigidité dans la direction longitudinale) est calculée comme suit :

$$(EA)_{ef} = D_x = \sum_{i=1}^{n} E_i \cdot A_i$$

En cas de charge du X-LAM dans le plan et avec l´hypothèse que $E_{90} = 0$, les rigidités dans la direction longitudinale d´une bande de panneau de largeur égale à 1 m sont basées sur des sections effectives, pourtant seuls les plis avec une orientation dans la direction étudiée sont considérés.

$$D_x = E_{0,mean} \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i,x} \text{ und } D_y = E_{0,mean} \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{i,y}$$

D_x, D_y	rigidité d´allongement dans la direction x-respectivement y (dans le plan) ;
$t_{i,x}, t_{i,y}$	épaisseur de la position i avec direction de fibres dans la direction x, dans la direction y.

6.2 Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux (charge hors du plan du panneau)

En cas de charge du panneau contrecollé X-LAM perpendiculaire plan du panneau, le calcul des contraintes et des déformations est basé sur la poutre de Timoshenko.

Dans cette extension de la théorie des poutres classique selon Euler-Bernoulli, l´effet de cisaillement est pris en compte dans le calcul des déformations.

Les vérifications suivantes doivent être apportées en cas de charge hors du plan du panneau.

6.21 Vérification de la résistance sous l´effet d'un moment fléchissant

Cette vérification s´effectue par le contrôle de la contrainte en flexion maximale à l'extrémité des couches extérieures orientées en direction des contraintes avec la valeur de dimensionnement de résistance en flexion fm,CLT,d.

$$\sigma(z) = \frac{M_y}{K_{CLT}} \cdot z \cdot E(z) \leq f_{m,CLT,d}$$

La résistance en flexion K_{CLT} peux être déterminée selon 6.1 ou selon le Tableau A- 3 et le Tableau A- 5. Le module d´élasticité est donné dans le Tableau A- 9.

Pour la détermination de la valeur de calcul de la résistance en flexion $f_{m,CLT,d}$ du X-LAM, la valeur de calcul de la résistance à la flexion $f_{m,d}$ des panneaux est multipliée par un coefficient de système k_l.

$$f_{m,CLT,d} = f_{m,d} \cdot k_l$$

Avec :

$$k_l = min \begin{Bmatrix} 1 + 0{,}025 \cdot n \\ 1{,}2 \end{Bmatrix}$$

Avec n = nombre de plis côte à côte dans la zone de tension.

6.22 Vérification des contraintes au cisaillement

Dans la couche longitudinale déterminante, la vérification des contraintes au cisaillement du X-LAM doit être apportée avec la valeur de la résistance au cisaillement $f_{v,d}$.

La contrainte au cisaillement maximale $\tau_{max,d}$ dans la couche longitudinale se calcule comme suit :

$$\tau_{max,d} = \frac{V_z \cdot \int_{A_0} E(z) \cdot z \cdot dA}{K_{CLT} \cdot b(z_0)} \leq f_{v,d}$$

En raison de la structure multi-plis du X-LAM, il est nécessaire, selon la structure du panneau, d´effectuer une vérification supplémentaire de la contrainte en cisaillement dans la couche transversale déterminante avec la valeur de calcul de la résistance au cisaillement roulant fr,d.

La contrainte en cisaillement roulant maximale dans la couche transversale déterminante $\tau_{r,max,d}$ se calcule comme suit :

$$\tau_{r,max,d} = \frac{V_z \cdot \int_{A_0} E(z) \cdot z \cdot dA}{K_{CLT} \cdot b(z_0)} \leq f_{r,d}$$

La résistance à la flexion K_{CLT} doit être déterminée selon 6.1 et se trouve dans le Tableau A- 3 et le Tableau A- 5. Le module d´élasticité est donné dans le Tableau A- 9.

6.23 Vérification des entailles au niveau de l'appui

La vérification des entailles au niveau des appuis s'effectue selon la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale, en considérant la

contrainte de cisaillement au niveau de l'appui entaillé en utilisant la hauteur efficace (réduite) h_{ef} (prenant en compte que les plis travaillants) et le cisaillement roulant $f_{r,d}$.

On vérifie :

$$\tau_d = \frac{1{,}5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{r,d}$$

avec :

$\propto = \frac{h_{ef}}{h}$;

$k_n = 4{,}5$;

$k_v = 1$ pour les poutres entaillées sur la face opposée à l'appui ;

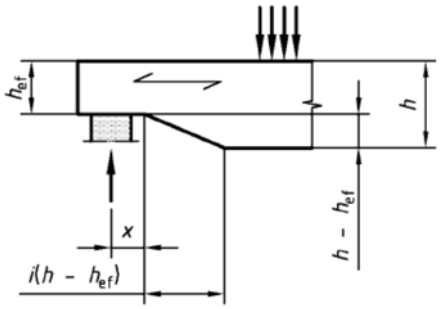
$k_v = min \begin{cases} 1 \\ \frac{k_n\left(1+\frac{1{,}1 i^{1{,}5}}{\sqrt{h}}\right)}{\sqrt{h}\left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)}+0{,}8.\frac{x}{h}.\sqrt{\frac{1}{\alpha}-\alpha^2}\right)} \end{cases}$, pour les poutres entaillées sur la face de l'appui de la poutre.

où :

i est l'inclinaison de l'entaille ;

h est la hauteur de la poutre en mm ;

x est la distance entre la ligne d'action de la réaction de l'effort et le coin de l'entaille, en mm.



6.24 Compression transversale

La vérification de la compression transversale $\sigma_{c,90,CLT,d}$ s´effectue selon la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale, en considérant la valeur de calcul de la résistance à la compression transversale $f_{c,90,CLT,d}$ ainsi que du coefficient de compression transversale $k_{c,90,CLT}$ pour le panneau contrecollé :

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

$\boldsymbol{A_{c,90}}$ est l'aire de contact efficace en compression perpendiculaire au fil;

$\boldsymbol{k_{c,90,CLT}}$ est un facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression. $\boldsymbol{k_{c,90,CLT}}$ = 1.5 selon la norme NF EN 1995-1-1 ;

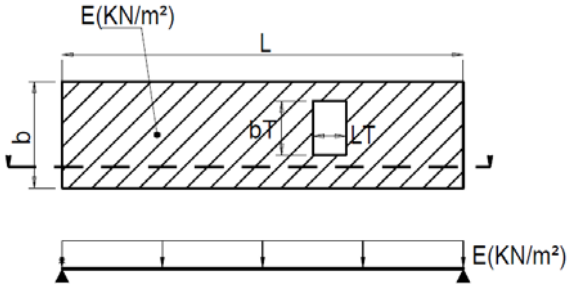
$f_{c,90,CLT,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil, avec $f_{c,90,CLT,k}$ = 2.5 N/mm².

6.25 Planchers comprenant des ouvertures

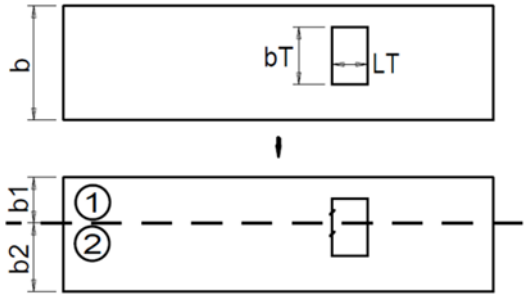
Des planchers comprenant des ouvertures peuvent être réalisés soit avec des éléments X-LAM seuls, soit avec des éléments X-LAM associés à d'autres éléments structuraux de type poutre.

6.251 Ouverture dans un panneau X-LAM

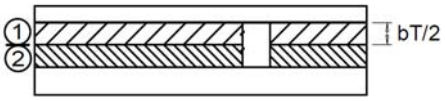
Pour toute ouverture réalisée dans un panneau, supportant une charge répartie qk exprimée en kN/m², il conviendra de suivre la démarche suivante :



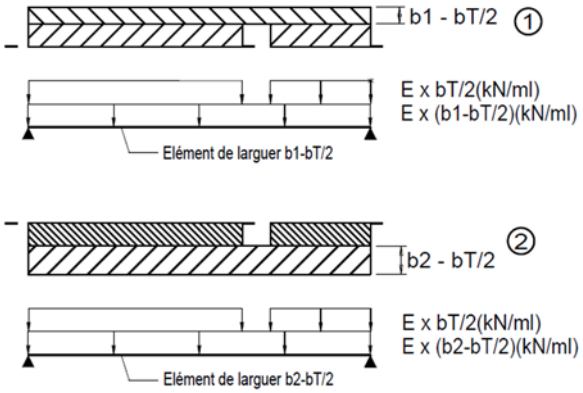
- décomposer le panneau en deux parties élémentaires



- Identifier les bandes de chargement non portées de chacune des parties élémentaires:



- reporter ces bandes de chargement sur les portions continues des parties élémentaires, formant les poutres modélisées 1) et 2) de largeurs respectives $b_1 - b_T/2$ et $b_2 - b_T/2$



Vérifier les deux poutres ainsi modélisées ; la poutre la plus sollicitée est celle qui dimensionne l'ensemble du panneau. Les ouvertures peuvent être calculées selon cette méthode simplifiée pour des ouvertures ≤ 40x 40 cm.

II convient de vérifier ces poutres en considérant toutes les charges qu'elles supportent (permanentes, variables, etc.) conformément aux Eurocodes.

6.252 Trémies d'escaliers

Les règles suivantes sont à observer :

- la trémie se situe au bord d'un élément porteur de plancher ;
- la largeur bT de la trémie est inférieure à la moitié de la largeur b de l'élément de plancher ;
- le plancher repose sur trois ou quatre appuis ;
- l'escalier impose un chargement surfacique uniforme soit selon la largeur (bT), soit selon la longueur (LT) de la trémie, ou n'impose aucun chargement supplémentaire ;
- les poutres virtuelles A et B, issues de la modélisation (cf. figures ci-dessous) doivent présenter un élancement (rapport de la portée à l'épaisseur) au moins égal à 6, soit une longueur minimale de 1,8 m pour un panneau de 297 mm d'épaisseur.

- La décomposition s'effectue selon deux poutres, dont le chargement est fonction des appuis de la trémie :
- la poutre A, dans l'alignement de la trémie, de longueur LA et de largeur bT, reposant sur deux appuis avec une partie en porte-à-faux ;
- la poutre B, dont le nombre d'appuis et la longueur sont égaux à ceux du plancher et dont la largeur est égale à b-bT ;
- la longueur des porte-à-faux sera limitée à 20% de la longueur de la portée de la travée adjacente d'équilibre ;
- Les figures et tableaux ci-dessous présentent cette modélisation des poutres virtuelles A et B et fournissent quelques géométries, à titre d'exemple, correspondant aux exigences précitées.

Plancher sur 3 appuis avec ouverture

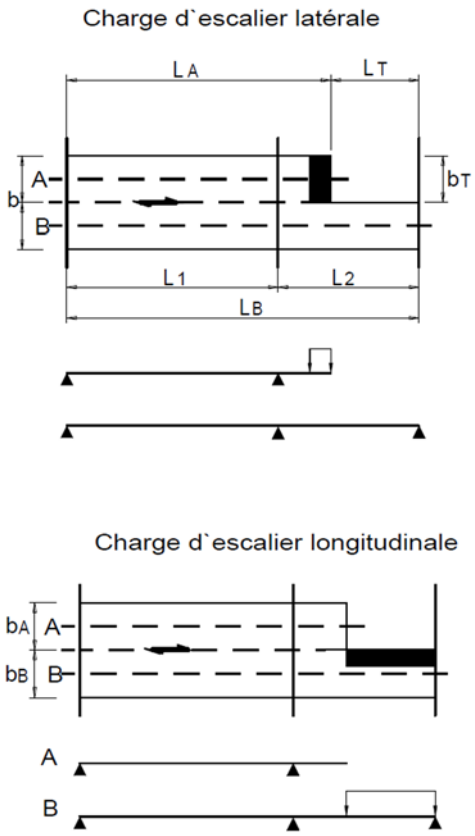


Image 6-1: Modélisation d'une ouverture - panneau X-LAM sur3 appuis

Tableau 2: Panneau X-LAM sur 3 appuis - exemple de géométries de plancher et d'ouvertures

Plancher		Ouverture		Longueur poutres		Largeur poutres	
Longueur	Largeur b	Longueur L_T	Largeur b_T	L_A	L_B	b_A	b_B
4,0	2,0	0,5	1,0	4,0	4,0	1,0	1,0
5,0	2,2	1,5	1,0	4,0	5,0	1,0	1,2
6,0	2,5	2,5	1,1	4,0	6,0	1,1	1,4
7,0	3,0	3,0	1,2	4,0	7,0	1,2	1,8

Plancher sur 4 appuis avec ouverture

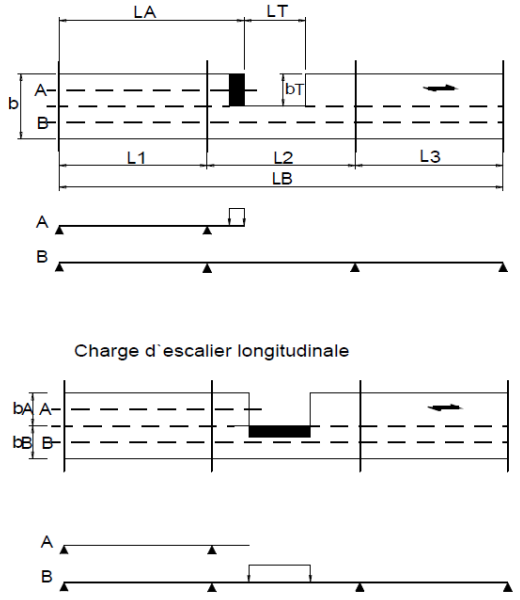


Image 6-2 : Modélisation d'une ouverture - panneau X-LAM sur4 appuis

Les valeurs de contraintes et de déplacements à prendre en compte pour le dimensionnement sont les suivantes :

- Pour la portée l1, (travée(s) qui ne comporte(nt) pas la trémie), les valeurs maximales, en valeur absolue, données par les poutres A et B sont adoptées ;
- Pour la portée l2, (travée comprenant la trémie), les valeurs maximales, en valeur absolue, données par les poutres A et B sont adoptées. La valeur de la flèche limite à prendre en compte est celle du porte-à-faux.

6.26 Vérification des déformations

Les vérifications prennent en compte les déformations sous charge permanente et charge variable ainsi que le fluage. En raison de la faiblesse des plis transversaux sous effort tranchant, il faut également prendre en considération leur déformation.

$$w_{ges} = \frac{1}{K_{CLT}} \int (M \cdot \overline{M})\, dx + \frac{1}{S_{CLT}} \int (V \cdot \bar{V}) dx$$

Pour une poutre X-LAM sur un appui simple, sous une charge uniformément répartie, la flèche maximale est calculée par la formule suivante :

$$w_{(l/2)} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot K_{CLT}} + \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot S_{CLT}}$$

La rigidité en flexion K_{CLT} et la rigidité au cisaillement S_{CLT} peuvent être déterminées selon 6.1 ou sont données dans le Tableau A- 3 et le Tableau A- 5.

On vérifie la déformation initiale ($t = 0$) et la déformation finale ($t = \infty$) en considérant des coefficients de déformation k_{def} (cf. tableau 3.2 de la norme NF EN 1995-1-1 - contreplaqué) et des coefficients de combinaison ψ, selon la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale. Les coefficients de déformation dépendent de la structure de la section transversale et sont donnés dans le Tableau A- 8. La vérification s'effectue selon la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale.

6.27 Vérification des vibrations

Pour les dalles X-LAM d'une portée supérieure à 4 m, la vérification des vibrations est la plupart du temps déterminante. La vérification peut s´effectuer selon la méthode : Hamm/Richter modifiée. Il est nécessaire de vérifier les trois conditions suivantes : la fréquence propre, la rigidité et l´accélération de vibration.

La fréquence propre calculée (pour des poutres sur appui simple f_{Balken} respectivement poutre continue ou pour les dalles avec un transfert de charge à de multiples axesf_{Platte}) doit être plus élevée que le critère de fréquence (fréquence propre critiquef_{krit}).

$$f_{Balken} = k_m \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{(EI)_{l,ef}}{\overline{m}}} \text{ [Hz]}$$

k_m: Facteur prend en considération le support et le mode propre, voir Tableau 4 ;

l : longueur de la portée ;

$(EI)_{l,ef}$: rigidité en flexion en direction de la tension (sans les contingents de Steiner) ;

$\overline{m}$: masse surfacique [kg/m²].

Tableau 3: Facteur k_m pour le 1. mode propre

Conditions du support	k_m*
Support articulé	$\pi^2 = 9{,}87$
Encastrement	22,4
Porte-à-faux	3,52
*1. Mode propre	

La fréquence propre critique f_{krit} pour des exigences normales et élevées est donnée dans le tableau 4.

Tableau 4: fréquence propre critique f_{krit}

Méthode selon	f_{krit}	
	Exigence élevée	Exigence normale
Hamm/Richter modifiée	8 Hz	6 Hz

Pour des poutres continues, la fréquence propre de la poutre sur appui simple peut être multipliée par le facteur k_{f_2}

$$k_{f_2} = -5{,}3828\left(\frac{l_{min}}{l_{max}}\right)^6 + 16{,}6637\left(\frac{l_{min}}{l_{max}}\right)^5 - 19{,}7305\left(\frac{l_{min}}{l_{max}}\right)^4 + 10{,}3840\left(\frac{l_{min}}{l_{max}}\right)^3 - 1{,}9017\left(\frac{l_{min}}{l_{max}}\right)^2 - 0{,}5879\left(\frac{l_{min}}{l_{max}}\right) + 1{,}5537$$

Pour des panneaux X-LAM sur quatre appuis, la fréquence propre peut être calculée comme suit en considérant la rigidité en torsion D^*_{xy} et les rigidités en flexion effectives dans le sens longitudinal et transversal $(EI)_{l,ef}$, $(EI)_{b,ef}$, :

$$f_{Platte} = f_{Balken}\sqrt{1 + \frac{2 \cdot D^*_{xy}}{(EI)_{l,ef}} \cdot \frac{l^2}{b^2} + \frac{(EI)_{b,ef}}{(EI)_{l,ef}} \cdot \frac{l^4}{b^4}} \text{ [Hz]}$$

La vérification du critère de rigidité comprend le calcul de la déformation au milieu de la travée $w(F, b_F)$ en cas de charge verticale de 1 kN.

La largeur b_F des panneaux tendus uni axialement est prise en considération par la formule suivante.

La déformation maximale calculée doit être inférieure à la déformation critique $w_{krit,1kN}$.

La déformation maximale des panneaux X-LAM tendus uni-axialement se calcule comme suit :

$$w(F, b_F) = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (EI)_{l,ef} \cdot b_F} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot (GA)_{ef} \cdot b_F}$$

$$b_F = \frac{l}{1{,}1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_{b,ef}}{(EI)_{l,ef}}}$$

$(GA)_{ef}$ rigidité au cisaillement effective

l portée

$(EI)_{l(b),ef}$ résistance à la flexion longitudinale ou transversale effective (sans contingents de Steiner)

Tableau 5: flèche critique $w_{krit,1kN}$

Méthode selon	$w_{krit,1kN}$	
	Exigence élevée	Exigence normale
Hamm/Richter modifiée	0,25 mm	0,25 mm
variables pour $w_{krit,1kN}$. Cependant, il est recommandé de respecter les valeurs données dans ce tableau.		

Lorsque la fréquence propre f_1 est comprise entre la fréquence propre critique f_{krit} et la fréquence minimale de 4,5 Hz, l'accélération de vibration vérifiée doit être inférieure à l'accélération critique a_{krit}, voir Tableau 8.

$$a = \frac{0{,}4 \cdot \left(\frac{F_0 \cdot \alpha_{i,f_1}}{M_{gen}}\right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{f_1}{f_f}\right)^2 - 1\right)^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_1}{f_f}\right)^2}} \text{ [m/s²]}$$

Avec :

$F_0 = 700$ N poids propre de la personne en mouvement

$M_{gen} = M \cdot \frac{l}{2} \cdot b_{eff}$ [kg/m²] masse modale du panneau avec $b_{eff} = \min\begin{cases} b_F \\ b/2 \text{ (demi-largeur de la pièce)} \end{cases}$

Tableau 6: Coefficient de Fourier, Fréquence d´excitation, Facteur d'affaiblissement ζ

Coefficient de Fourier, Fréquence d´excitation		
Fréquence propre f_1 [Hz]	Coefficient de Fourier α_{i,f_1}	Fréquence d´excitation f_f [Hz]
$4{,}5 < f_1 \leq 5{,}1$	0,20	f_1
$5{,}1 < f_1 \leq 6{,}9$	0,06	f_1
$6{,}9 < f_1 \leq 8{,}0$	0,06	6,9
Facteur d'affaiblissement ζ		
Assemblage de plancher	Support à 2 plis	Support à 4 plis
Dalles X-LAM avec ou sans assemblage de plancher léger	2,0 %	2,5 %
Dalles de X-LAM avec assemblage de plancher lourd	2,5 %	3,5 %

Tableau 7: accélération critique a_{krit}

Méthode selon	a_{krit}	
	Exigence élevée	Exigence normale
Hamm/Richter modifiée	0,05 m/s²	0,10 m/s²

6.28 Cas des planchers avec appuis parallèles au sens de la portée

L'ajout d'appui parallèle à la portée du panneau de plancher engendre un comportement de plaque. Cependant, dans certains cas, les contraintes transversales et déformations supplémentaires ne sont pas préjudiciables à la sécurité de l'ouvrage. Il convient pour cela d'observer les règles suivantes :

- Ne pas créer d'appui additionnel parallèle à la portée (sauf s'il s'agit d'un panneau unique) pour des panneaux d'une largeur inférieure à 2m ;
- Pour des largeurs de panneaux supérieures ou égales à 2 m, le risque d'inversion d'effort au niveau des appuis n'est plus critique (pas ou peu de risque de soulèvement au bord) - il est ainsi possible de créer un appui parallèle à la portée ;
- Pour les panneaux de plus de 3 m de large et comportant au moins 5 plis ou plus, on a :

$$\frac{\sigma_{m,90,d}}{f_{m,90,d}} \leq \frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}}$$

$\sigma_{m,0,d}$ et $f_{m,0,d}$	les résistances et contrainte de flexion dans le sens de la portée ;
$\sigma_{m,90,d}$ et $f_{m,90,d}$	résistance et contrainte de flexion dans le sens transversal.

La résistance à la flexion transversale est donc assurée si la résistance à la flexion dans le sens de la portée l'est aussi. Il est ainsi possible d'effectuer une vérification en flexion sur deux appuis.

6.3 Dimensionnement des éléments porteurs verticaux

Lorsque le X-LAM, bois massif contrecollé, est utilisé comme élément de paroi, les couches de finition sont alignées dans la direction verticale.

6.31 Vérifications en cas de charge verticale

6.311 Vérification en cas d´effort de traction

En cas d'effort de traction sur le X-LAM dans le plan du panneau, la vérification est effectuée en considérant l´aire nette de la section$A_{net,ef}$. L´aire nette de la section effective inclue tous les plis du panneau orientés dans la direction de la charge.

Pour la vérification de la tension maximale dans la direction de la fibre$\sigma_{t,0,CLT,d}$, la valeur de calcul de la résistance à la traction $f_{t,0,CLT,net,d}$ selon la EN 338 et selon le Tableau A- 9 doit être utilisée :

$$\sigma_{t,0,CLT,net,d} = \frac{N_d}{A_{net,ef}} \leq f_{t,0,CLT,net,d}$$

6.312 Vérification en cas de contrainte en compression

Quand le bois massif contrecollé X-LAM est contraint en compression dans le plan du panneau, la stabilité doit être contrôlée (risque de flambement), en plus de la vérification de la contrainte.

La vérification de la tension de compression maximale en direction de la fibre doit être effectuée en considération de l´aire nette de la section $A_{net,ef}$ avec la valeur de calcul de la résistance à la compression $f_{c,0,CLT,net,d}$ selon la norme EN 338 et le Tableau A- 9:

$$\frac{N_d}{A_{net,ef} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} \leq 1{,}0$$

Les charges principalement verticales venant des panneaux des étages supérieurs engendrent des efforts en compression dans la paroi de panneau contrecollé qui provoquent une déstabilisation (flambage).

Pour la vérification de la stabilité, deux méthodes sont à disposition :

- Vérification selon la méthode de la barre équivalente
- Vérification selon la théorie du second ordre

La vérification selon la méthode de la barre équivalente est effectuée avec une valeur de calcul de résistance à la compression réduite $f_{c,0,CLT,net,d}$:

$$\frac{N_d}{k_c \cdot A_{net,ef} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} \leq 1{,}0$$

Le coefficient de flambement k_c dépend de l'élancement relatif λ_{rel} et du coefficient β_c, qui prend en compte les imperfections de la section.

$$k_c = min\left[\frac{1{,}0}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}\right]$$

$$k = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0{,}3) + \lambda_{rel}^2)$$

$$\beta_c = 0{,}1$$

L'élancement relatif λ_{rel} prend en compte la charge critique de flambage n_{cr} qui dépend de la valeur de 5 centiles de la résistance à la flexion $K_{CLT,05}$ et de la résistance au cisaillement $S_{CLT,05}$ ainsi que de la longueur de flambage l_k .

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{A_{net,ef} \cdot f_{c,0,CLT,net,k}}{n_{cr}}}$$

$$n_{cr} = \frac{K_{CLT,05} \cdot \pi^2}{l_k^2 \cdot (1 + \frac{K_{CLT,05}}{S_{CLT,05} \cdot l_k^2})}$$

Les valeurs de 5 centiles de $K_{CLT,05}$ et $S_{CLT,05}$ sont calculées avec les valeurs caractéristiques $E_{0,05}$, $G_{CLT,05}$ et $G_{r,CLT,05}$ et sont données dans le Tableau A- 9.

La vérification selon la théorie de second ordre est basée sur l´équilibre du système déformé et elle est effectuée comme vérification de la combinaison de l'effort normal en pression et du moment de flexion. Cette méthode doit être préférée à la précédente dans le cas de murs soumis à des pressions de vent importantes.

$$\left(\frac{N_d}{A_{net,ef} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}}\right)^2 + \frac{M_d^{II}}{W_{ef} \cdot f_{m,CLT,d}} \leq 1{,}0$$

En raison des efforts venant du vent, il existe aussi des charges horizontales qui provoquent une flexion de l´élément du mur X-LAM. Cet effet doit être pris en considération par une vérification de la combinaison (pression et flexion).

6.313 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 norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale pour les poteaux sollicités en compression seule ou en compression et flexion combinées, en prenant alors βc = 0,1.

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

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

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'élancement $\lambda_{rel,z}$ et $\lambda_{rel,x}$ inférieurs ou égaux à 0,3) on vérifie (pour le pli *i* = *x* ou *y*) :

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

6.32 Vérification en cas de charge horizontale

6.321 Vérification de la tension de cisaillement maximale

La vérification de la tension de cisaillement maximale $\tau_{v,CLT,d}$ d´un élément de paroi X-LAM doit être effectuée avec la valeur de calcul de résistance contre le cisaillement en fonction de la section (voir Tableau A-3 et Tableau A-5) et en considération de la section brute (épaisseur d´un élément X-LAM) comme suit :

$$\tau_{v,CLT,d} = \frac{n_{xy,d}}{t_{CLT}} \leq f_{v,CLT,d}$$

6.322 Fixation des éléments de mur

La capacité de portée des assemblages utilisés pour la fixation des murs (vis à filetage intégral / partiel, connecteur angulaire à clous ou agrafes, etc.) sous tension et cisaillement doit être vérifiée.

La contrainte en compression venant des éléments de mur est transférée par pression de contact dans la zone de raccordement.

6.323 Linteaux et ouvertures

Dans le cas des linteaux de porte ou de fenêtre, le calcul se ramène a de la flexion sur chant dont la valeur de résistance est la suivante :

$$f_{m,d} = f_{m,k,C24} \cdot \frac{A_{net,ef}}{A} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

Avec $A_{net,ef}$ la section prenant en compte les plis dont le fil est dans le sens de la sollicitation en flexion.

Si le linteau est constitué par une pièce rapportée de X-LAM, il faut la considérer comme simplement appuyée.

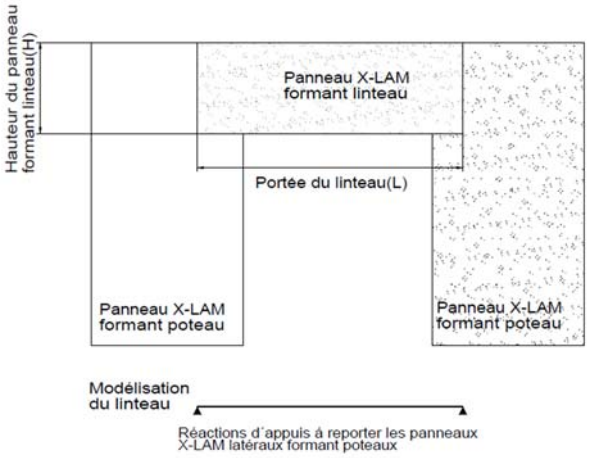


Image 6-3 : Schématisation ouverture dans un panneau X-LAM mur - panneau linteau

Si le linteau fait partie intégrante du panneau de mur, on le modélise par une poutre simplement appuyée donc la hauteur et la portée sont celles indiquées sur le schéma ci-dessous :

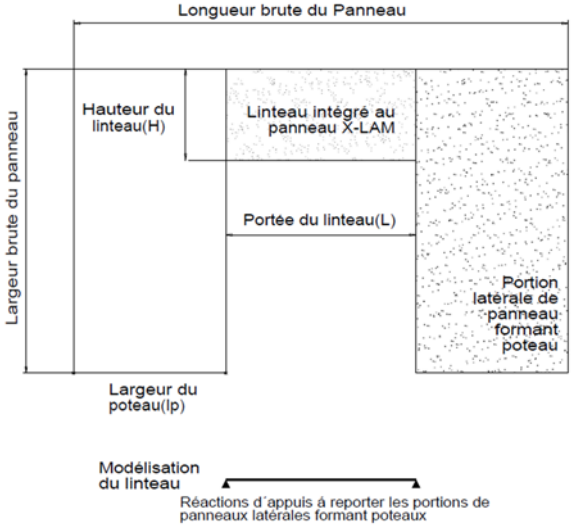


Image 6-4: Schématisation ouverture dans un panneau X-LAM mur - linteau dans panneau monolithique

6.33 Reprise des charges perpendiculaires à la surface du panneau

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

6.34 Reprise de charges verticales ponctuelles

Les contraintes de compression engendrées par un appui ponctuel (poutre en appui sur le mur par l'intermédiaire d'un sabot) sont reprises uniquement par les plis orientés verticalement et ce sans considérer de répartition de contraintes.

On vérifie :

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

Où :

$A_{net,i}$ est défini dans les images 6-5 et image 6-6

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.

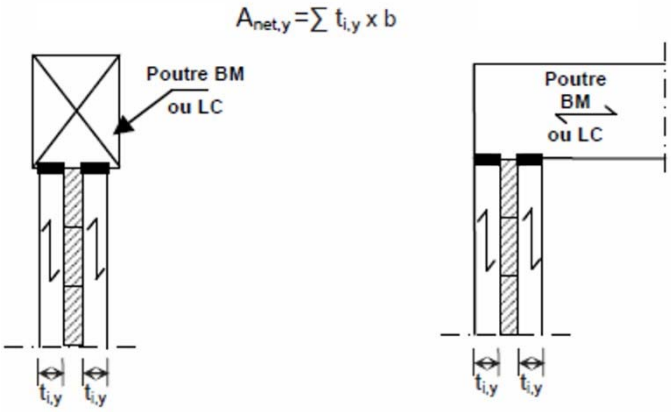


Image 6-5: Appui de poutre bois sur mur en panneaux structuraux massifs bois – Largeur d'appui

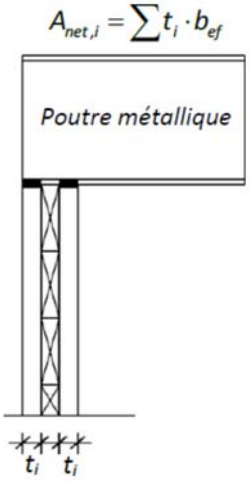


Image 6-6: Appui de poutre métallique sur mur en panneaux structuraux massifs bois – Largeur d'appui

6.4 Dimensionnement des éléments au séisme

Il convient de suivre le paragraphe 8 de la norme NF EN 1998-1 : dimensionnement des éléments selon la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale et application des règles spécifiques selon la norme NF EN 1998-1.

Les états limites ultimes et les états limites de limitation de dommages doivent ainsi être analysés, en considérant notamment les combinaisons d'actions sous sollicitations sismiques définies dans l'Eurocode 8, §3.2.4 et les critères de régularités de structures pouvant les influencer (Eurocode 8, §4.2.3).

Afin d'assurer un comportement dissipatif et ductile d'ensemble, les ruptures fragiles ou la formation prématurée de mécanismes instables doivent être évitées. L'utilisation de la méthode de dimensionnement en capacité permet de hiérarchiser les résistances des différents composants structuraux et les modes de défaillance.

Les dispositions constructives de la structure dans son ensemble et de ces zones ou éléments en particulier doivent être telles que la capacité de transmettre les efforts et de dissiper l'énergie dans des conditions de sollicitations cycliques soit maintenue. Dans ce but, il convient que la conception des assemblages entre éléments structuraux fasse l'objet d'une attention particulière lors de la conception et du dimensionnement. De même il convient de vérifier que les systèmes de planchers conçus à l'aide de panneaux soient dotés d'une résistance et d'une rigidité en plan adéquates et que leurs liaisons avec les systèmes structuraux verticaux soient suffisamment efficaces.

6.41 Action sismique

Conformément aux prescriptions de l'Eurocode 8, les composantes de l'action sismique sur un bâtiment seront représentées par des spectres de calcul différents selon l'orientation de la sollicitation (verticale ou horizontale). Dans le plan horizontal, les deux composantes orthogonales auront le même spectre de réponse.

La valeur de calcul Ed des effets des actions en situation sismique doit être déterminée conformément à l'Eurocode 0. On se réfèrera cependant au §4.2.4 de l'Eurocode 8 afin de calculer la valeur des coefficients de combinaison des actions variables ψEi en fonction de la catégorie d'exploitation du bâtiment, mais également de l'étage concerné (toit, étages à occupations, etc.).

6.42 Analyse de la structure

De manière générale la structure peut être considérée comme constituée de plusieurs systèmes résistant aux charges verticales et latérales, liés par des diaphragmes horizontaux. Les planchers DERIX X-LAM étant rigides dans leurs plans, les masses et les moments d'inertie de chaque plancher peuvent être concentrés au centre de gravité. Les murs DERIX X-LAM contribuent quant à eux de manière significative à la rigidité et à la résistance latérales du bâtiment.

6.43 Résistance sous charges horizontales d'origine sismique

L'effort tranchant à la base de la structure est à déterminer en fonction du spectre de calcul réduit et des directives de l'Eurocode 8 (EN 1998-1) §4.3.3. On se réfèrera à cette même norme afin d'approcher les efforts de torsion complémentaires et la distribution des forces sismiques horizontales le long de la structure en fonction des masses aux différents niveaux de celle-ci.

6.44 Déplacements

Les déplacements de la structure sous sollicitations sismiques seront évalués conformément aux prescriptions du §4.3.4 de l'Eurocode 8 (EN 1998-1). Les effets de torsion de la structure devront être pris en compte.

Les limitations des déplacements entre étages à observer sont celles définies par la même norme au §4.4.3.2. L'intégration des spécificités des éléments rapportés sur la structure permet ainsi d'observer l'exigence de limitation des dommages.

6.5 Dispositions générales relatives aux assemblages

6.51 Disposition et dimensionnement des organes de fixation

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux DERIX X-LAM entre eux ou des panneaux DERIX X-LAM à d'autres éléments de structure en matériaux bois doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592 ou faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne. Les liaisons entre panneaux doivent être réalisées avec des éléments permettant la reprise des efforts de traction transversale (LVL, contreplaqué, panneau 3 plis), à l'exclusion du bois massif.

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

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés en regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et du paragraphe 6.5 du Dossier Technique établi par le Demandeur.

Sauf justifications particulière, les organes d'assemblages entre panneaux dans leur plan doivent être implantés avec un entraxe de 30cm au maximum.

Le dimensionnement des assemblages devra tenir compte des efforts additionnels dus à l'excentrement des dispositifs de fixation par rapport au centre de gravité de la section du mur et/ou du plancher.

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

- D'un marquage CE selon la NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- D'un ETA ou d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement ».

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton avec la structure doit être assurée avec un ferraillage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1.

Les vis, qui se distinguent par leur haute résistance et leur mise-en-œuvre rapide (pas de pré-perçage), sont à utiliser de préférence.

Toutes les données de ce document doivent être considérées comme complémentaires de la norme NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale.

Les données concernant les assemblages de type tige dans le Tableau 10 jusqu'au Tableau 13 sont valides pour une masse volumique apparente caractéristique $\rho_k \geq 350\ kg/m^3$.

Les surfaces des éléments de construction parallèles au plan du panneau sont définies comme étant les faces latérales. Les surfaces perpendiculaires aux faces latérales sont définies comme étant les chants.

Les données concernant les assemblages dans les faces latérales sont valides uniquement pour les plis extérieurs en bois résineux.

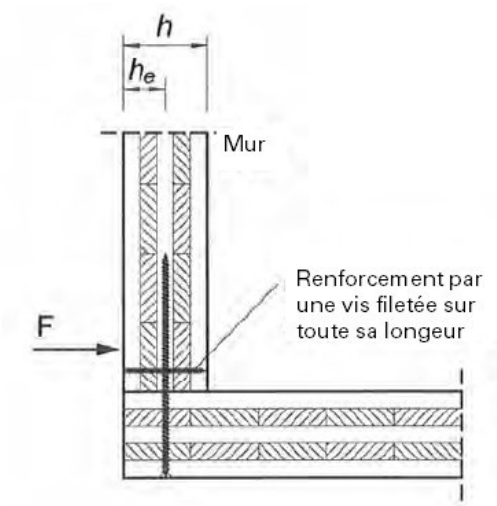
Les broches, clous et boulons dans les chants du X-LAM ne sont pas considérés comme porteurs.

La disposition de vis dans les chants est possible.

Cependant, pour la tenue du panneau à long terme, il est recommandé de réaliser l'assemblage des panneaux par vissage perpendiculaire au plan du panneau.

Dans les cas de vissage sur chant entre éléments de murs et pour des actions perpendiculaires aux murs, des dispositions complémentaires de frettage peuvent être introduite afin de prévenir les risques de rupture par traction perpendiculaire aux fibres.

Dans la configuration ci-dessous, le frettage devient nécessaire lorsque $h_e/h < 0,7$



Le calcul de la résistance contre le cisaillement est fait selon la théorie de Johansen prenant en considération la résistance à la pression latérale du bois massif, selon les Tableau 10 et Tableau 11.

À l´égard de la résistance des assemblages contre l'arrachement, une attention particulière doit être portée à la mise en œuvre de deux lignes d'assemblages avec au moins deux assemblages pour chaque ligne au sein d'une connexion. La profondeur de la pénétration doit être déterminée de telle sorte que la pointe de la vis puisse traverser la troisième lamelle.

Dans le Tableau 10 et le Tableau 11, est présenté un récapitulatif du dimensionnement des assemblages dans les faces latérales et les chants du X-LAM selon l'ETA-11/0189. Pour les détails constructifs des connexions, les distances minimales des assemblages doivent être respectées, voir Tableau 13 jusqu´au Tableau 15.

6.52 Assemblages usuels

6.521 Assemblage entre panneaux

Les éléments de mur et de plafond sont installés et connectés sur chantier.

Les jonctions entre éléments peuvent réalisées grâce à une fausse languette extérieure ou intérieure et des vis, clous ou agrafes, ou encore par un assemblage en bois de fil avec des vis croisées ou par un assemblage mi-bois.

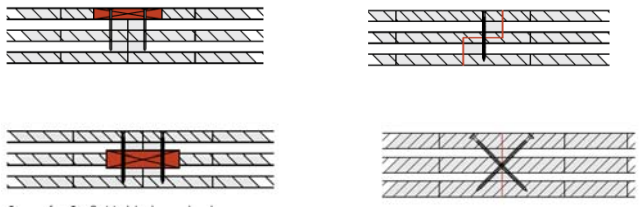


Image 6-5: Jonctions des panneaux - variantes

Les géométries des languettes, fausses languettes et mi-bois ainsi que le choix des organes d'assemblages doit permettre le respect des conditions de pinces définis dans l'Eurocode 5 § 8 et son annexe nationale ou des conditions de pinces définies pour des organes d'assemblages spécifiques faisant l'objet d'un ETA.

En raison des limites de dimensions en fabrication, il est nécessaire de mettre en œuvre des jonctions de panneaux parallèles à la direction de serrage. Celles-ci sont réalisées sur chantier ou en usine selon les exigences statiques et sont réalisées par des assemblages à recouvrement, rainures - languettes ou des joints rabotés.

Les jonctions d'angle des éléments de mur X-LAM sont exécutées soit par encastrement, soit par apposition et sont fixées avec des vis à filetage intégral et / ou partiel. Il faut éviter de visser dans le bois de bout.

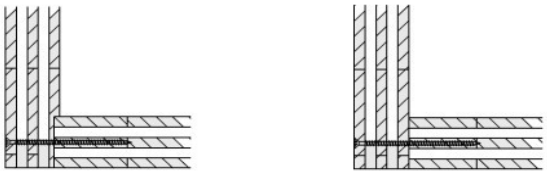


Image 6-6: Jonctions d'angle – variantes d´exécution

Le raccordement d´un mur de refend à un élément de mur X-LAM (T-joint) peut être exécuté avec des vis à filetage intégral croisées ou, comme dans le cas d'une jonction en angle droit, avec des équerres et des clous / vis.

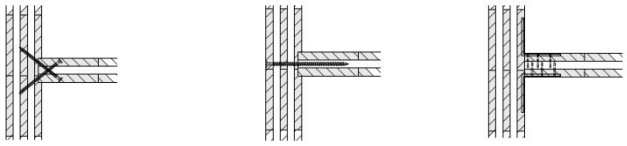


Image 6-7: Connexion à la paroi intérieure – variantes d´exécution

6.522 Liaison d'un mur avec la dalle de soubassement en béton ou le plancher bois

Pour la fixation des éléments de murs X-LAM à la dalle de soubassement en béton ou le plancher bois, on peut utiliser des équerres diverses, qui seront fixés avec des clous crantés (ou des vis) dans l´élément X-LAM avec l´aide de boulons d´ancrages tels que les boulons Fischer FAZ II. En fonction de la qualité du béton, on peut également utiliser des vis à béton ou des boulons d´ancrage à coller.

Il faut veiller à la régularité et la planéité de la dalle ainsi qu'à un calfeutrement approprié.

Des forces de traction venant de l´effet de plaque peuvent être transmises avec des connecteurs de traction (connecteurs angulaires AKR).

Le transfert des forces de cisaillement s´effectue de façon continue avec des connecteurs angulaires (par exemple ABR90/105/9015, AE116) fixés avec des clous crantés / vis, qui servent également d'auxiliaire de montage. La connexion du plafond avec le mur inférieur est faite avec des vis à filetage intégral ou partiel, en évitant de visser dans le bois de bout.

Il convient de veiller à l'encastrement des isolants acoustique, des bandes d´étanchéité et à l´utilisation d'équerres avec une protection acoustique.

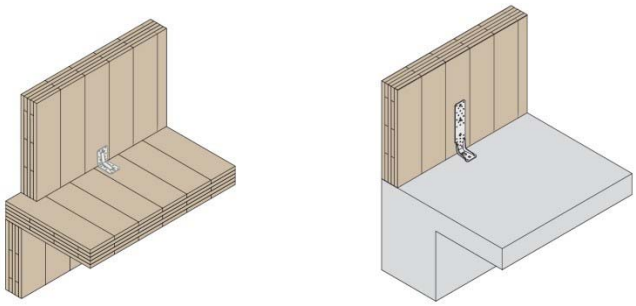


Image 6-8: Ancrage des éléments de mur X-LAM – variantes

6.53 Préconisation d'assemblages et d'ancrage spécifiques pour mise en œuvre en zone sismique

Seules les connections ayant un comportement approprié à la fatigue oligo-cyclique peuvent être envisagées dans les assemblages entre panneaux Derix X-LAM.

Les assemblages avec connecteurs mécaniques doivent être dimensionnés conformément aux dispositions de l'Eurocode 5, complétées des dispositions données au §6.5 du présent dossier technique. Il s'agit de s'attacher particulièrement à réaliser des assemblages dont le mode de rupture est ductile, à la fois pour les liaisons entre panneaux et pour les

ancrages aux fondations, capable de reprendre les sollicitations sismiques.

Les connecteurs usuels sont de type équerre, permettant de lier les murs aux planchers intermédiaires et aux fondations. Ils sont de préférences rapportées sur les panneaux à l'aide de pointes annelées, et diffèrent de géométrie en fonction de leur position :

Pour la transmission des forces de cisaillement des équerres entre panneaux (par exemple Simpson AE116, BMF 90 x 48 x 116) en connexion avec des clous crantés ou vis respectivement des produits similaires d´autres fabricants sont utilisés dans la connexion mur/plafond ou mur-dalle basse.

Pour la transmission des forces de traction lors de la connexion de X-LAM avec des dalles basse ou des plaques de base, des équerres d'ancrage (par exemple Simpson HTT22) en connexion avec des clous crantés ou des produits similaires sont utilisés.

6.6 Dispositions spécifiques relatives à la sécurité en cas d'incendie

On se conforme aux dispositions de l'Avis de résistance au feu suivant §2.21 de l'Avis technique attaché au présent dossier technique.

6.7 Dispositions spécifiques relatives au montage

6.71 Stockage sur chantier

Les panneaux X-LAM sont livrés dans la plupart des cas par camion. La livraison est coordonnée auparavant avec la présence de l´équipe de montage. Le déchargement et la mise en œuvre sur chantier se font à l´aide d´une grue et en utilisant des moyens de manutention divers.

Les boucles de levage sont un moyen simple et économique pour le déplacement des panneaux. Elles sont fixées sur le bois à l´aide d´une cale en bois vissée.

Pour le transport des panneaux X-LAM, des vis avec tête combi sont vissées dans les faces latérales (éléments de planchers) et dans les chants (éléments de mur).

Pour le déchargement et la manutention, on utilise des coupleurs à tête universelle, libres de rotation dans toutes les directions.

6.72 Déroulement du montage

Des instructions de montage pour X-LAM sont fournies par le fabricant sur le site.

Les éléments X-LAM verticaux doivent être alignés de façon précise. Dans certains cas, un étaiement temporaire pendant le montage est nécessaire.

En cas de stockage des éléments X-LAM sur chantier, il faudra veiller à les placer au sec sur un support suffisamment solide et plat. Le stockage peut être vertical ou horizontal, mais des lambourdes doivent être disposées entre les panneaux en cas du stockage horizontal. La stabilité face au basculement des éléments X-LAM doit être également prise en compte.

Les éléments X-LAM sont livrés avec une humidité de bois de u = 10 % ± 2 %. Les éléments doivent être protégés de la pluie, des projections d´eau et de l'humidité par des bâches de protection ou des planches de protection.

Pour éviter la formation de condensation, le film d´emballage doit être auparavant retiré.

Pendant et après le montage, les variations d´humidité ainsi que les pollutions sont à éviter par des mesures de protection appropriées (protection contre les intempéries). En cas de pénétration d´humidité lors de la finition intérieure (pendant le coulage de la chape par exemple) une ventilation adéquate est alors nécessaire.

6.73 Protection en phase chantier

Au même titre que pour le stockage sur chantier, l'entreprise de pose 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 DERIX X-LAM.

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 pour éviter son poinçonnement lorsque les ouvriers circulent sur les planchers, soit posée sur le panneau structural massif bois, réalisée avec un feutre bitumineux plus résistant. Il convient également de chasser toute stagnation d'eau.

6.8 Dispositions spécifiques relatives au passage de câbles techniques dans l'épaisseur même du panneau DERIX X-LAM

Percements, fraisages et brochages pour l´installation des câbles doivent toujours être contrôlés et vérifiés par le bureau d'étude responsable. En particulier, les fraisages et brochages dans la direction transversale par rapport aux couches longitudinales et transversales porteurs peuvent réduire considérablement la capacité de charge statique d´éléments X-LAM. Cela devrait donc toujours planifiées à l'avance et en coordination avec le bureau d'étude.

6.9 Propriétés physiques du bâtiment

6.91 Isolation thermique

Le Coefficient de transmission thermique U [W/m²K] est un paramètre important pour l´isolation thermique en hiver. Il indique la qualité thermique d´un élément de construction et dépend de la conductivité thermique λ du matériau et du transfert de chaleur entre les couches de surface paroi / air (radiation thermique, convection, conduction).

Le coefficient de transmission thermique U est calculé comme suit :

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum R_i + R_{si}} \ [\mathrm{W/m^2K}]$$

Les résistances thermiques surfacique Rse (extérieur) et Rsi (intérieur) sont définie dans la EN ISO 6946 et données dans le Tableau 9.

Tableau 8: Résistances thermiques surfaciques selon EN ISO 6946

Direction du courant thermique [Km²/W]			
	En amont	horizontal	En aval
R_{se}	0,04	0,04	0,04
R_{si}	0,10	0,13	0,17

La résistance thermique R_i d´une couche de matériau homogène i est définie comme suit :

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \ [\mathrm{Km^2/W}]$$

La conductivité thermique λ [W/mK] est un paramètre caractéristique du matériau et dépend de l'homogénéité de celui-ci, de sa masse volumique apparente, de la structure de ses pores et de l'humidité (voir Tableau 10).

Tableau 9: valeurs physiques caractéristiques du bâtiment en X-LAM

Paramètres caractéristiques	
Conductivité thermique λ [W/mK]	0,13
Capacité thermique spécifique c [J/kgK]	1610
Valeur de résistance à la diffusion de vapeur d´eau μ [-]	20-50

Les différentes structures de murs, de plafonds et de planchers sont données en Annexe E.

6.92 Protection contre l'humidité

Concernant la perméabilité à l´humidité, l´entrée de l'humidité extérieure (pluie, humidité du sol, eau souterraine etc.) ainsi que celle de l´intérieur (vapeur d´eau, rosée sur la surface des éléments de construction) doivent être prises en compte.

L´air intérieur ne doit pas pénétrer dans les panneaux afin d'éviter la condensation à l'intérieur de ces derniers.

Un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du DERIX X-Lam exposée au climat intérieur (entre le panneau DERIX X-LAM 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.

Tous les éléments et les jonctions d'angles doivent être protégés contre toute humidité.

En fonction de la teneur en humidité, le X-LAM a un facteur de résistance à la diffusion de vapeur compris entre 20 et 50.

B. Résultats expérimentaux

[1] Appréciation de laboratoire au feu. Résistance au feu des panneaux structuraux X-LAM. CSTB- AL 13-124

C. Références

C1. Données Environnementales et Sanitaires[1]

Les procédés DERIX X-LAM ne font pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

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

C2. Autres références

Bâtiments à usage d'habitation

Habitations unifamiliales (Belgique)

Bâtiments publics

Cabinet médical Brüggen, Belgique

Immeuble de bureau Friedrichs Mönchengladbach (Allemagne)

Crèche Viersen (Allemagne)

Bâtiment commercial Fries (Allemagne)

Réhabilitation du site CADDY à Willems (France)

Pôle services lycée Béhal à Lens (France)

[1] Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet avis

Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 10: Dimensionnement des assemblages des faces latérales du panneau X-LAM selon l'ETE-11/0189 (surfaces des éléments de construction parallèle au plan de panneau)				
Charge	**90° à l´axe de broche**		**0° à l´axe de broche**	
Assemblages	**Résistance au cisaillement**	**Conditions**	**Résistance à l´arrachement**	**Conditions**
Clous	Résistance à la compression latérale en considérant la masse volumique du bois massif et de l´angle entre la direction de charge et la direction des fibres du pli de surface.	d ≥ 4 mm d ≥ 6 mm	$R_{ax,k} = 14 \cdot d^{0,6} \cdot l_{ef}$ [N] Clous profilé avec d, l_{ef}	d ≥ 4 mm n ≥ 2 pour chaque connexion l_{ef} ≥ 8d
Vis auto perceuses		d ≥ 6 mm	$R_{ax,k} = \sum_{i=1}^{n} f_{ax,i,k} \cdot l_{ef} \cdot d$ [N] $f_{ax,i,k}$ = valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement de la position i, en fonction de $\rho_{k,i}$ et l´angle α_i entre l´axe de la vis et la direction des fibres de la position i l_{ef} =profondeur de pénétration du filetage dans la position i n = nombre de planches traversées	d ≥ 6 mm l_{ef} ≥ 4d Longueur de filetage l_{ef} conditon: α_i ≥ 30°
Broches, Boulons				
ETA, Annexe 5 (1.2)				
En général :	Nombre efficace de pointes dans la file n_{ef} selon la norme NF EN 1995-1-1 §8.3.1.1: $n_{ef} = n$ pour les plis de surface t ≤ 40 mm; ou n_{ef} selon NF EN 1995-1-1 (8.3.1.1)			

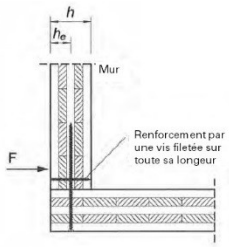
Tableau 11: Dimensionnement des assemblages dans les chants du panneau X-LAM selon l'ETE-11/0189 (Surfaces perpendiculaires aux faces latérales de l´élément de construction)				
Charge	**90° à l´axe de broche**		**0° à l´axe de broche**	
Assemblages	**Résistance au cisaillement**	**Conditions**	**Résistance à l´arrachement**	**Conditions**
Vis auto perceuses	$f_{h,k} = 20 \cdot d^{-0,5}$ [N/mm²]	d ≥ 8 mm	$R_{ax,k} = \sum_{i=1}^{n} f_{ax,i,k} \cdot l_{ef} \cdot d$ [N] voir Tableau 11 (Assemblages dans les faces latérales)	d ≥ 8 mm voir Tableau 11 (Assemblages dans les faces latérales)
En général:	Nombre effectif d'assemblages : n_{ef} selon la norme NF EN 1995-1-1 (8.3.1.1)			
Renfort vis-à-vis de la traction transversale (frettage) prévenant la rupture en cas de charge normal au plan de BSP		h_e/h < 0,7 alors Vis a filetage total demandées h_e = distance entre le bord chargé et l´assemblage le plus éloigné. h = épaisseur de l'élément de DERIX X-LAM. Une vis de frette doit être disposée tous les 300 mm dans la hauteur du mur ou une vis au droit de chaque vis d'assemblage entre panneaux de mur.		

Tableau 12: Distances minimales des assemblages en cas de mise en œuvre dans les faces latérales du panneau X-LAM selon l'ETE-11/0189						
	a_1	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	a_2	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Clous	$(3+3\cdot\cos\alpha)\cdot d$	$(7+3\cdot\cos\alpha)\cdot d$	$6\cdot d$	$3\cdot d$	$(3+4\cdot\sin\alpha)\cdot d$	$3\cdot d$
Vis auto perceuses	$4\cdot d$	$6\cdot d$	$6\cdot d$	$2{,}5\cdot d$	$6\cdot d$	$2{,}5\cdot d$
Broches	$(3+2\cdot\cos\alpha)\cdot d$	$5\cdot d$	$max\begin{cases}4\cdot d\cdot\sin\alpha\\3\cdot d\end{cases}$	$3\cdot d$	$3\cdot d$	$3\cdot d$
Boulons	$max\begin{cases}(3+2\cdot\cos\alpha)\cdot d\\4\cdot d\end{cases}$	$5\cdot d$	$4\cdot d$	$3\cdot d$	$3\cdot d$	$3\cdot d$

Tableau 13: Distances minimales des assemblages en cas de mise en œuvre dans les faces latérales du panneau X-LAM						
	a_1	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	a_2	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Vis auto perceuses	$10\cdot d$	$12\cdot d$	$7\cdot d$	$3\cdot d$	$6\cdot d$	$3\cdot d$

Tableau 14: Épaisseurs minimales des bois et Profondeur minimale d´enfoncement des assemblages en cas de mise en œuvre dans les faces latérales du panneau X-LAM			
	Épaisseur minimale des couches affectées t_i [mm]	Épaisseur minimale des éléments X-LAM BSP t_{XLAM} [mm]	Profondeur minimale d´enfoncement des assemblages t_1 ou t_2 [mm]
Vis auto perceuses	$d > 8\,mm: 3\cdot d$ $d \leq 8\,mm: 2\cdot d$	$10\cdot d$	$10\cdot d$
a)	t_1 = profondeur minimale d´enfoncement de l´assemblage dans les éléments de construction latéraux t_2 = profondeur minimale d´enfoncement de l´assemblage dans les éléments de construction centraux		

Tableau A- 1: Structure et dimensions des éléments X-LAM

Propriété	Valeur
Éléments X-LAM	
Épaisseur	60 à 400 mm
Tolérance d´épaisseur	±2 mm en cas d´épaisseur ≤ 200 mm
	±3 mm en cas d´épaisseur > 200 mm
Largeur	≤3,50 m
Longueur	≤18,00 m
Nombre de plis	3 ≤ n ≤ 11
Nombre maximal de plis voisins parallèles aux fibres	≤ 2 en cas de n ≥ 5
Largeur de joint entre les planches	
Des plis longitudinaux	3 mm
Des plis transversaux	6 mm
Planches (matériau de base)	
Essence	Épicéa, Sapin, Pin et Mélèze
Qualité du bois selon la norme NF EN 338 et la NF EN 14081-1	≥C24
Surface des panneaux	Rabotée
Épaisseur	
Plis longitudinaux	15 à 45 mm
Plis transversaux	15 à 40 mm
Largeur	80 à 260 mm
Rapport entre largeur et épaisseur des plis de la couche transversale	≥4:1
Humidité du bois selon la norme NF EN 13183-2	8 % ± 2 %, 9 % ± 2 %, 10 % ± 2 %, 11 % ± 2 %, 12 % ± 2 % Dans un élément de X-LAM seule une humidité de bois doit être assumée.
Joint	selon la norme NF EN 14080

Tableau A- 2: Élément porteur horizontaux (Charge des éléments X-LAM dans le plan) Orientation des plis extérieurs dans la direction longitudinale

Éléments porteurs horizontaux															
Désignation	Épaisseur nominale	Nombre de plis	Structure											Poids propre*	Schéma
	[mm]	[-]	[mm]											[kN/m²]	
L-60 / 3s	60	3					20	20	20					0,27	
L-80 / 3s	80	3					30	20	30					0,36	
L-90 / 3s	90	3					30	30	30					0,41	
L-100 / 3s	100	3					40	20	40					0,45	
L-110 / 3s	110	3					40	30	40					0,50	
L-120 / 3s	120	3					40	40	40					0,54	
L-130 / 5s	130	5				30	20	30	20	30				0,59	
L-140 / 5s	140	5				40	20	20	20	40				0,63	
L-150 / 5s	150	5				30	30	30	30	30				0,68	
L-160 / 5s	160	5				40	20	40	20	40				0,72	
L-170 / 5s	170	5				40	30	30	30	40				0,77	
L-180 / 5s	180	5				40	30	40	30	40				0,81	
L-200 / 5s	200	5				40	40	40	40	40				0,90	
L-220 / 7s	220	7			40	20	40	20	40	20	40			0,99	
L-240 / 7s	240	7			40	20	40	40	40	20	40			1,08	
L-260 / 7s	260	7			40	30	40	40	40	30	40			1,17	
L-280 / 7s	280	7			40	40	40	40	40	40	40			1,26	
LL-190 / 7s	190	7			30	30	20	30	20	30	30			0,86	
LL-210 / 7s	210	7			30	30	30	30	30	30	30			0,95	
LL-230 / 7s	230	7			30	30	40	30	40	30	30			1,04	
LL-240 / 7s	240	7			40	40	20	40	20	40	40			1,08	
LL-260 / 7s	260	7			40	40	30	40	30	40	40			1,17	
LL-280 / 7s	280	7			40	40	40	40	40	40	40			1,26	
L-290 / 9s	290	9		40	30	30	30	30	30	30	30	40		1,31	
L-310 / 9s	310	9		40	30	40	30	30	30	40	30	40		1,40	
L-320 / 9s	320	9		40	30	40	30	40	30	40	30	40		1,44	
L-360 / 9s	360	9		40	40	40	40	40	40	40	40	40		1,62	
LL-300 / 9s	300	9		40	40	20	40	20	40	20	40	40		1,35	
LL-330 / 9s	330	9		40	40	30	40	30	40	30	40	40		1,49	
LL-360 / 9s	360	9		40	40	40	40	40	40	40	40	40		1,62	
L-400 / 11s	400	11	40	40	30	40	30	40	30	40	30	40	40	1,80	

Tableau A- 3 : Caractéristiques géométriques et mécaniques des panneaux X-LAM - Valeurs caractéristiques de résistance en N/mm²

	Flexion à plat					Flexion a chant			Dans le plan du panneau			
	Flexion à plat		Compression perpendiculaire au panneau	Cisaillement relatif à la flexion à plat		Flexion a chant		Cisaillement relatif à la flexion a chant	Traction		Compression	
	$f_{m,k}$		$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$		$f_{m,k}$		$f_{v,k}$	$f_{t,k}$		$f_{c,k}$	
	parallèle	normal		parallèle	normal	parallèle	normal		parallèle	normal	parallèle	normal
L-60/3s	23,11	0,89	2,50	1,08	0,83	16,00	8,00	2,67	11,00	5,50	16,00	8,00
L-80/3s	23,63	0,38	2,50	1,05	0,63	18,00	6,00	2,00	12,38	4,13	18,00	6,00
L-90/3s	23,11	0,89	2,50	1,08	0,83	16,00	8,00	2,07	11,00	5,50	16,00	8,00
L-100/3s	23,81	0,19	2,50	1,03	0,50	19,20	4,80	1,60	13,20	3,30	19,20	4,80
L-110/3s	23,51	0,49	2,50	1,06	0,68	17,45	6,55	1,71	12,00	4,50	17,45	6,55
L-120/3s	23,11	0,89	2,50	1,08	0,83	16,00	8,00	1,78	11,00	5,50	16,00	8,00
L-130/5s	20,55	3,45	2,50	1,21	0,61	16,62	7,38	2,46	11,42	5,08	16,62	7,38
L-140/5s	22,18	1,82	2,50	1,13	0,46	17,14	6,86	2,05	11,79	4,71	17,14	6,86
L-150/5s	19,01	4,99	2,50	1,24	0,65	14,40	9,60	2,49	9,90	6,60	14,40	9,60
L-160/5s	21,38	2,63	2,50	1,19	0,58	18,00	6,00	2,00	12,38	4,13	18,00	6,00
L-170/5s	20,57	3,43	2,50	1,19	0,57	15,53	8,47	2,07	10,68	5,82	15,53	8,47
L-180/5s	20,15	3,85	2,50	1,21	0,62	16,00	8,00	2,09	11,00	5,50	16,00	8,00
L-200/5s	19,01	4,99	2,50	1,24	0,65	14,40	9,60	2,13	9,90	6,60	14,40	9,60
L-220/7s	20,05	3,95	2,50	1,05	0,83	17,45	6,55	2,18	12,00	4,50	17,45	6,55
L-240/7s	19,78	4,22	2,50	1,06	0,90	16,00	8,00	2,28	11,00	5,50	16,00	8,00
L-260/7s	18,31	5,69	2,50	1,07	0,89	14,77	9,23	2,27	10,15	6,35	14,77	9,23
L-280/7s	17,07	6,93	2,50	1,09	0,88	13,71	10,29	2,29	9,43	7,07	13,71	10,29
L-290/9s	17,52	6,48	2,50	1,13	0,79	14,07	9,93	2,34	9,67	6,83	14,07	9,93
L-310/9s	17,59	6,41	2,50	1,10	0,82	14,71	9,29	2,35	10,11	6,39	14,71	9,29
L-320/9s	17,46	6,54	2,50	1,11	0,83	15,00	9,00	2,35	10,31	6,19	15,00	9,00
L-360/9s	15,97	8,03	2,50	1,12	0,85	13,33	10,67	2,37	9,17	7,33	13,33	10,67
LL-190/7s	22,89	1,11	2,50	1,10	0,42	18,95	5,05	1,68	13,03	3,47	18,95	5,05
LL-210/7s	22,18	1,82	2,50	1,13	0,46	17,14	6,86	1,78	11,79	4,71	17,14	6,86
LL-230/7s	21,43	2,57	2,50	1,16	0,51	15,65	8,35	1,64	10,76	5,74	15,65	8,35
LL-240/7s	23,22	0,78	2,50	1,09	0,39	20,00	4,00	1,33	13,75	2,75	20,00	4,00
LL-260/7s	22,72	1,28	2,50	1,11	0,43	18,46	5,54	1,45	12,69	3,81	18,46	5,54

LL-280/7s	22,18	1,82	2,50	1,13	0,46	17,14	6,86	1,52	11,79	4,71	17,14	6,86
LL-300/9s	22,44	1,56	2,50	1,05	0,61	19,20	4,80	1,60	13,20	3,30	19,20	4,80
LL-330/9s	21,59	2,41	2,50	1,07	0,65	17,45	6,55	1,71	12,00	4,50	17,45	6,55
LL-360/9s	20,74	3,26	2,50	1,09	0,69	16,00	8,00	1,78	11,00	5,50	16,00	8,00
LL-400/11s	20,65	3,35	2,50	1,10	0,66	16,80	7,20	1,88	11,55	4,95	16,80	7,20

A. Annotations :

1) Les dimensions de tenue mécanique indiquées sont à la base des dimensions de tenue mécanique du tableau A-9 (exclu E90 = 0).

2) Indication des dimensions de tenue mécanique en cas de charge en sens longitudinal (parallèle) respectivement en sens transversal (normal) en respectant les sections nettes et en se référant à la section rectangulaire homogène remplaçante.

3) Avec les dimensions de tenue mécanique indiquées on peut effectuer des procédés de preuve réduits spécialement pour flexion et cisaillement sur base d'une section rectangulaire homogène remplaçante.

Tableau A- 4 : Caractéristiques géométriques et mécaniques des panneaux X-LAM – Valeurs caractéristiques de rigidité en N/mm² et masse volumique en kg/m³

	Flexion à plat				Flexion à chant				Masse volumique	
	Module d'élasticité		Module de cisaillement		Module d'élasticité		Module de cisaillement		Masse volumique moyenne	Masse volumique caractéristique
	E_{mean}		G_{mean}		E_{mean}		G_{mean}		ρ_{mean}	ρ_k
	parallèle	normal	parallèle	normal	parallèle	normal	parallèle	normal		
L-60/3s	11170	430	460	230	7733	3867	460	230	420	350
L-80/3s	11419	181	518	173	8700	2900	518	173	420	350
L-90/3s	11170	430	460	230	7733	3867	460	230	420	350
L-100/3s	11507	93	552	138	9280	2320	552	138	420	350
L-110/3s	11365	235	502	188	8436	3164	502	188	420	350
L-120/3s	11170	430	460	230	7733	3867	460	230	420	350
L-130/5s	9932	1668	478	212	8031	3569	478	212	420	350
L-140/5s	10721	879	493	197	8286	3314	493	197	420	350
L-150/5s	9187	2413	414	276	6960	4640	414	276	420	350
L-160/5s	10331	1269	518	173	8700	2900	518	173	420	350
L-170/5s	9943	1657	446	244	7506	4094	446	244	420	350
L-180/5s	9738	1862	460	230	7733	3867	460	230	420	350
L-200/5s	9187	2413	414	276	6960	4640	414	276	420	350
L-220/7s	9691	1909	502	188	8436	3164	502	188	420	350
L-240/7s	9559	2041	460	230	7733	3867	460	230	420	350
L-260/7s	8849	2751	425	265	7138	4462	425	265	420	350
L-280/7s	8252	3348	394	296	6629	4971	394	296	420	350
L-290/9s	8467	3133	404	286	6800	4800	404	286	420	350
L-310/9s	8502	3098	423	267	7110	4490	423	267	420	350
L-320/9s	8439	3161	431	259	7250	4350	431	259	420	350
L-360/9s	7717	3883	383	307	6444	5156	383	307	420	350
LL-190/7s	11066	534	545	145	9158	2442	545	145	420	350
LL-210/7s	10721	879	493	197	8286	3314	493	197	420	350
LL-230/7s	10357	1243	450	240	7565	4035	450	240	420	350
LL-240/7s	11224	376	575	115	9667	1933	575	115	420	350
LL-260/7s	10982	618	531	159	8923	2677	531	159	420	350

LL-280/7s	10721	879	493	197	8286	3314	493	197	420	350
LL-300/9s	10847	753	552	138	9280	2320	552	138	420	350
LL-330/9s	10435	1165	502	188	8436	3164	502	188	420	350
LL-360/9s	10025	1575	460	230	7733	3867	460	230	420	350
LL-400/11s	9982	1618	483	207	8120	3480	483	207	420	350

B. Annotations :

1) Les dimensions de tenue mécanique indiquées sont à la base des dimensions de tenue mécanique du tableau A-9 (exclu E90 = 0).

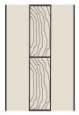
2) Indication des dimensions de tenue mécanique en cas de charge en sens longitudinal (parallèle) respectivement en sens transversal (normal) en respectant les sections nettes et en se référant à la section rectangulaire homogène remplaçante.

3) Avec les dimensions de tenue mécanique indiquées on peut effectuer des procédés de preuve réduits spécialement pour flexion et cisaillement sur base d'une section rectangulaire homogène remplaçante.

Tableau A- 5 : Élément porteur horizontaux (Chargement des éléments X-LAM principalement hors plan de l'élément); Orientation des couches de revêtement dans la direction longitudinale – Propriétés de section

Élément porteur horizontaux – Propriétés de section													
Désignation	A_{net}		A_{Brutto}	I_{net}		I_{Brutto}	z_S	EA_{eff}	D_x	D_y	K_{CLT}	S_{CLT}	S_{xy}
	[mm²]		[mm²]	[mm⁴]		[mm⁴]	[mm]	[N]	[N]	[N]	[Nmm²]	[N]	[N]
	LL	QL		LL	QL								
L-60/3s	40.000	20.000	60.000	1,733E+07	6,667E+05	1,800E+07	30	4,640E+08	4,640E+08	2,320E+08	2,011E+11	4,423E+06	3,566E+07
L-80/3s	60.000	20.000	80.000	4,200E+07	6,667E+05	4,267E+07	40	6,960E+08	6,960E+08	2,320E+08	4,872E+11	7,151E+06	4,490E+07
L-90/3s	60.000	30.000	90.000	5,850E+07	2,250E+06	6,075E+07	45	6,960E+08	6,960E+08	3,480E+08	6,786E+11	6,634E+06	4,908E+07
L-100/3s	80.000	20.000	100.000	8,267E+07	6,667E+05	8,333E+07	50	9,280E+08	9,280E+08	2,320E+08	9,589E+11	1,048E+07	5,300E+07
L-110/3s	80.000	30.000	110.000	1,087E+08	2,250E+06	1,109E+08	55	9,280E+08	9,280E+08	3,480E+08	1,261E+12	9,255E+06	5,667E+07
L-120/3s	80.000	40.000	120.000	1,387E+08	5,333E+06	1,440E+08	60	9,280E+08	9,280E+08	4,640E+08	1,609E+12	8,844E+06	6,010E+07
L-130/5s	90.000	40.000	130.000	1,568E+08	2,633E+07	1,831E+08	65	1,044E+09	1,044E+09	4,640E+08	1,818E+12	1,239E+07	7,338E+07
L-140/5s	100.000	40.000	140.000	2,113E+08	1,733E+07	2,287E+08	70	1,160E+09	1,160E+09	4,640E+08	2,451E+12	1,273E+07	7,768E+07
L-150/5s	90.000	60.000	150.000	2,228E+08	5,850E+07	2,813E+08	75	1,044E+09	1,044E+09	6,960E+08	2,584E+12	1,196E+07	8,181E+07
L-160/5s	120.000	40.000	160.000	3,040E+08	3,733E+07	3,413E+08	80	1,392E+09	1,392E+09	4,640E+08	3,526E+12	1,763E+07	8,577E+07
L-170/5s	110.000	60.000	170.000	3,509E+08	5,850E+07	4,094E+08	85	1,276E+09	1,276E+09	6,960E+08	4,071E+12	1,411E+07	8,959E+07
L-180/5s	120.000	60.000	180.000	4,080E+08	7,800E+07	4,860E+08	90	1,392E+09	1,392E+09	6,960E+08	4,733E+12	1,623E+07	9,325E+07
L-200/5s	120.000	80.000	200.000	5,280E+08	1,387E+08	6,667E+08	100	1,392E+09	1,392E+09	9,280E+08	6,125E+12	1,595E+07	1,002E+08
L-220/7s	160.000	60.000	220.000	7,413E+08	1,460E+08	8,873E+08	110	1,856E+09	1,856E+09	6,960E+08	8,599E+12	2,461E+07	1,185E+08
L-240/7s	160.000	80.000	240.000	9,493E+08	2,027E+08	1,152E+09	120	1,856E+09	1,856E+09	9,280E+08	1,101E+13	2,176E+07	1,262E+08
L-260/7s	160.000	100.000	260.000	1,117E+09	3,473E+08	1,465E+09	130	1,856E+09	1,856E+09	1,160E+09	1,296E+13	2,222E+07	1,334E+08
L-280/7s	160.000	120.000	280.000	1,301E+09	5,280E+08	1,829E+09	140	1,856E+09	1,856E+09	1,392E+09	1,510E+13	2,275E+07	1,402E+08
L-290/9s	170.000	120.000	290.000	1,483E+09	5,490E+08	2,032E+09	145	1,972E+09	1,972E+09	1,392E+09	1,721E+13	2,399E+07	1,552E+08
L-310/9s	120.000	120.000	310.000	1,820E+09	6,630E+08	2,483E+09	155	2,204E+09	2,204E+09	1,392E+09	2,111E+13	2,729E+07	1,627E+08
L-320/9s	120.000	120.000	320.000	1,987E+09	7,440E+08	2,731E+09	160	2,320E+09	2,320E+09	1,392E+09	2,305E+13	2,950E+07	1,664E+08
L-360/9s	160.000	160.000	360.000	2,587E+09	1,301E+09	3,888E+09	180	2,320E+09	2,320E+09	1,856E+09	3,001E+13	2,935E+07	1,803E+08
LL-190/7s	150.000	40.000	190.000	5,453E+08	2,633E+07	5,716E+08	95	1,740E+09	1,740E+09	4,640E+08	6,325E+12	2,130E+07	1,062E+08
LL-210/7s	150.000	60.000	210.000	7,133E+08	5,850E+07	7,718E+08	105	1,740E+09	1,740E+09	6,960E+08	8,274E+12	1,910E+07	1,145E+08
LL-230/7s	150.000	80.000	230.000	9,053E+08	1,087E+08	1,014E+09	115	1,740E+09	1,740E+09	9,280E+08	1,050E+13	1,839E+07	1,224E+08
LL-240/7s	200.000	40.000	240.000	1,115E+09	3,733E+07	1,152E+09	120	2,320E+09	2,320E+09	4,640E+08	1,293E+13	3,163E+07	1,262E+08
LL-260/7s	200.000	60.000	260.000	1,387E+09	7,800E+07	1,465E+09	130	2,320E+09	2,320E+09	6,960E+08	1,609E+13	2,735E+07	1,334E+08
LL-280/7s	200.000	80.000	280.000	1,691E+09	1,387E+08	1,829E+09	140	2,320E+09	2,320E+09	9,280E+08	1,961E+13	2,546E+07	1,402E+08
LL-300/9s	240.000	60.000	300.000	2,104E+09	1,460E+08	2,250E+09	150	2,784E+09	2,784E+09	6,960E+08	2,441E+13	3,700E+07	1,590E+08
LL-330/9s	240.000	90.000	330.000	2,694E+09	3,008E+08	2,995E+09	165	2,784E+09	2,784E+09	1,044E+09	3,125E+13	3,289E+07	1,700E+08
LL-360/9s	240.000	120.000	360.000	3,360E+09	5,280E+08	3,888E+09	180	2,784E+09	2,784E+09	1,392E+09	3,898E+13	3,136E+07	1,803E+08
LL-400/11s	280.000	120.000	400.000	4,589E+09	7,440E+08	5,333E+09	200	3,248E+09	3,248E+09	1,392E+09	5,324E+13	3,892E+07	2,066E+08
hypothèse: E_{90} = 0													

Tableau A- 6: Structures de mur (Charge des éléments X-LAM principalement dans le plan); Orientation des plis extérieurs dans la direction longitudinale (verticale)

			Structures de mur											
Désignation	Épaisseur nominale	Nombre de plis	Structure									Poids propre *	$f_{v,CLT,k}$	Schéma
	[mm]	[-]	[mm]									[kN/m²]	[N/mm²]	
X-60 / 3s	60	3				20	20	20				0,27	2,7	
X-70 / 3s	70	3				20	30	20				0,32	2,3	
X-80 / 3s	80	3				30	20	30				0,36	2,0	
X-90 / 3s	90	3				30	30	30				0,41	2,1	
X-100 / 3s	100	3				30	40	30				0,45	1,9	
X-110 / 3s	110	3				40	30	40				0,50	1,7	
X-120 / 3s	120	3				40	40	40				0,54	1,8	
X-100 / 5s	100	5			20	20	20	20	20			0,45	3,2	
X-110 / 5s	110	5			20	20	30	20	20			0,50	2,7	
X-120 / 5s	120	5			20	30	20	30	20			0,54	2,7	
X-130 / 5s	130	5			30	20	30	20	30			0,59	2,5	
X-140 / 5s	140	5			40	20	20	20	40			0,63	2,0	
X-150 / 5s	150	5			30	30	30	30	30			0,68	2,5	
X-160 / 5s	160	5			40	20	40	20	40			0,72	2,0	
X-170 / 5s	170	5			40	30	30	30	40			0,77	2,1	
X-180 / 5s	180	5			40	30	40	30	40			0,81	2,1	
X-190 / 5s	190	5			40	40	30	40	40			0,86	2,1	
X-200 / 5s	200	5			40	40	40	40	40			0,90	2,1	
X-220 / 7s	220	7		40	20	40	20	40	20	40		0,99	2,2	
X-240 / 7s	240	7		40	20	40	40	40	20	40		1,08	2,5	
X-260 / 7s	260	7		40	30	40	40	40	30	40		1,17	2,6	
X-280 / 7s	280	7		40	40	40	40	40	40	40		1,26	2,7	
X-290 / 9s	290	9	40	30	30	30	30	30	30	30	40	1,31	2,9	
X-310 / 9s	310	9	40	30	40	30	30	30	40	30	40	1,40	2,7	
X-320 / 9s	320	9	40	30	40	30	40	30	40	30	40	1,44	2,6	
X-360 / 9s	360	9	40	40	40	40	40	40	40	40	40	1,62	2,7	
			* Le poids propre a été déterminé avec une masse volumique apparente de ρ = 450 kg/m³.											

Les valeurs de capacité résistante en cisaillement $f_{v,clt,k}$ du tableau ci-dessus sont valables pour les valeurs de largeur minimum de planches suivantes :

120 mm pour une planche d'épaisseur 20 mm

140 mm pour une planche d'épaisseur 30 mm

160 mm pour une planche d'épaisseur 40 mm

Tableau A- 7: Structures de mur (Charge des éléments X-LAM principalement dans leur plan); Orientation des plis extérieurs dans la direction longitudinale – Propriétés de section

Structures de mur– Propriétés de section													
Désignation	A_{net}		A_{Brutto}	I_{net}		I_{Brutto}	z_S	EA_{eff}	D_x	D_y	K_{CLT}	S_{CLT}	S_{xy}
	[mm²]		[mm²]	[mm⁴]		[mm⁴]	[mm]	[N]	[N]	[N]	[Nmm²]	[N]	[N]
	LL	QL		LL	QL								
X-60/3s	40.000	20.000	60.000	1,733E+07	6,667E+05	1,800E+07	30	2,320E+08	2,320E+08	4,640E+08	7,733E+09	1,380E+07	3,566E+07
X-70/3s	40.000	30.000	70.000	2,633E+07	2,250E+06	2,858E+07	35	3,480E+08	3,480E+08	4,640E+08	2,610E+10	2,070E+07	4,043E+07
X-80/3s	60.000	20.000	80.000	4,200E+07	6,667E+05	4,267E+07	40	2,320E+08	2,320E+08	6,960E+08	7,733E+09	1,380E+07	4,490E+07
X-90/3s	60.000	30.000	90.000	5,850E+07	2,250E+06	6,075E+07	45	3,480E+08	3,480E+08	6,960E+08	2,610E+10	2,070E+07	4,908E+07
X-100/3s	60.000	40.000	100.000	7,800E+07	5,333E+06	8,333E+07	50	4,640E+08	4,640E+08	6,960E+08	6,187E+10	2,760E+07	5,300E+07
X-110/3s	80.000	30.000	110.000	1,087E+08	2,250E+06	1,109E+08	55	3,480E+08	3,480E+08	9,280E+08	2,610E+10	1,743E+07	5,667E+07
X-120/3s	80.000	40.000	120.000	1,387E+08	5,333E+06	1,440E+08	60	4,640E+08	4,640E+08	9,280E+08	6,187E+10	2,324E+07	6,010E+07
X-100/5s	60.000	40.000	100.000	6,600E+07	1,733E+07	8,333E+07	50	4,640E+08	4,640E+08	6,960E+08	2,011E+11	4,423E+06	5,943E+07
X-110/5s	70.000	40.000	110.000	8,458E+07	2,633E+07	1,109E+08	55	4,640E+08	4,640E+08	8,120E+08	3,055E+11	4,449E+06	6,426E+07
X-120/5s	60.000	60.000	120.000	1,020E+08	4,200E+07	1,440E+08	60	6,960E+08	6,960E+08	6,960E+08	4,872E+11	7,151E+06	6,891E+07
X-130/5s	90.000	40.000	130.000	1,568E+08	2,633E+07	1,831E+08	65	4,640E+08	4,640E+08	1,044E+09	3,055E+11	4,449E+06	7,338E+07
X-140/5s	100.000	40.000	140.000	2,113E+08	1,733E+07	2,287E+08	70	4,640E+08	4,640E+08	1,160E+09	2,011E+11	4,423E+06	7,768E+07
X-150/5s	90.000	60.000	150.000	2,228E+08	5,850E+07	2,813E+08	75	6,960E+08	6,960E+08	1,044E+09	6,786E+11	6,634E+06	8,181E+07
X-160/5s	120.000	40.000	160.000	3,040E+08	3,733E+07	3,413E+08	80	4,640E+08	4,640E+08	1,392E+09	4,331E+11	4,706E+06	8,577E+07
X-170/5s	110.000	60.000	170.000	3,509E+08	5,850E+07	4,094E+08	85	6,960E+08	6,960E+08	1,276E+09	6,786E+11	6,633E+06	8,959E+07
X-180/5s	120.000	60.000	180.000	4,080E+08	7,800E+07	4,860E+08	90	6,960E+08	6,960E+08	1,392E+09	9,048E+11	6,603E+06	9,325E+07
X-190/5s	110.000	80.000	190.000	4,629E+08	1,087E+08	5,716E+08	95	9,280E+08	9,280E+08	1,276E+09	1,261E+12	9,255E+06	9,678E+07
X-200/5s	120.000	80.000	200.000	5,280E+08	1,387E+08	6,667E+08	100	9,280E+08	9,280E+08	1,392E+09	1,609E+12	8,844E+06	1,002E+08
X-220 / 7s	160 000	60 000	220 000	7,413E+08	1,460E+08	8,873E+08	110	1,856E+09	1,856E+09	6,960E+08	8,599E+12	9,695E+06	1,185E+08
X-240 / 7s	160 000	80 000	240 000	9,493E+08	2,027E+08	1,152E+08	120	1,856E+10	1,856E+09	9,280E+08	1,101E+13	1,319E+07	1,262E+08
X-260 / 7s	160 000	100 000	260 000	1,117E+09	3,473E+08	1,465E+09	130	1,856E+10	1,856E+09	1,160E+09	1,296E+13	1,473E+07	1,334E+08
X-280 / 7s	160 000	120 000	280 000	1,301E+10	5,280E+08	1,829E+09	140	1,856E+10	1,856E+09	1,392E+09	1,510E+13	1,658E+07	1,402E+08
X-290 / 9s	170 000	120 000	290 000	1,483E+10	5,490E+08	2,032E+09	145	1,972E+09	1,972E+09	1,392E+09	1,721E+13	1,769E+07	1,552E+08
X-310 / 9s	190 000	120 000	310 000	1,820E+10	6,630E+08	2,483E+09	155	2,204E+10	2,204E+09	1,392E+09	2,111E+13	1,822E+07	1,627E+08
X-320 / 9s	200 000	120 000	320 000	1,987E+10	7,440E+08	2,731E+09	160	2,320E+09	2,320E+09	1,392E+09	2,305E+13	1,008E+07	1,664E+08
X-360 / 9s	200 000	160 000	360 000	2,587E+09	1,301E+09	3,888E+09	180	2,320E+09	2,320E+09	1,856E+09	3,001E+13	2,325E+07	1,803E+08
Hypothèse : E_{90} = 0													

Propriétés du matériau X-LAM

Coefficient de déformation k_{def}

Tableau A- 8: Coefficient de déformation kdef en fonction de la structure du panneau

Nombre de plis	Classe de service		
	1	2	3*
> 7s	0,80	1,00	-
≤ 7s	0,85	1,10	-
*pas d´utilisation de X-LAM dans la Classe de service 3			

Grandeurs caractéristiques du X-LAM

Tableau A- 9: Valeurs caractéristiques de résistance et de rigidité en N/mm² et masse volumique en kg/m³ du X-LAM – structure selon des vérifications déterminantes.

Propriété		Effort	
		Hors du plan (du panneau)	Dans le plan (du panneau)
Résistance à la flexion	$f_{m,CLT,k}$	24,0	24,0
Résistance à la traction	$f_{t,0,CLT,k}$		14,5
	$f_{t,90,CLT,k}$	0,4	
Résistance à la compression	$f_{c,0,CLT,k}$		21,0
	$f_{c,90,CLT,k}$	2,5[1)]	
Résistance au cisaillement	$f_{v,CLT,k}$	2,68[2)]	[3)]
Résistance au cisaillement roulant	$f_{r,CLT,k}$	1,0	
Module d´élasticité	$E_{0,CLT,mean}$	11000	11000
	$E_{0,CLT,05}$	7400	7400
	$E_{90,CLT,mean}$	370	370
	$E_{90,CLT,05}$	308	308
Module de cisaillement	$G_{CLT,mean}$	690	690
	$G_{CLT,05}$	575	575
Module de cisaillement roulant	$G_{r,CLT,mean}$	50	
	$G_{r,CLT,05}$	42	
Masse volumique	$\rho_{CLT,k}$	350	350
	$\rho_{CLT,mean}$	420	420

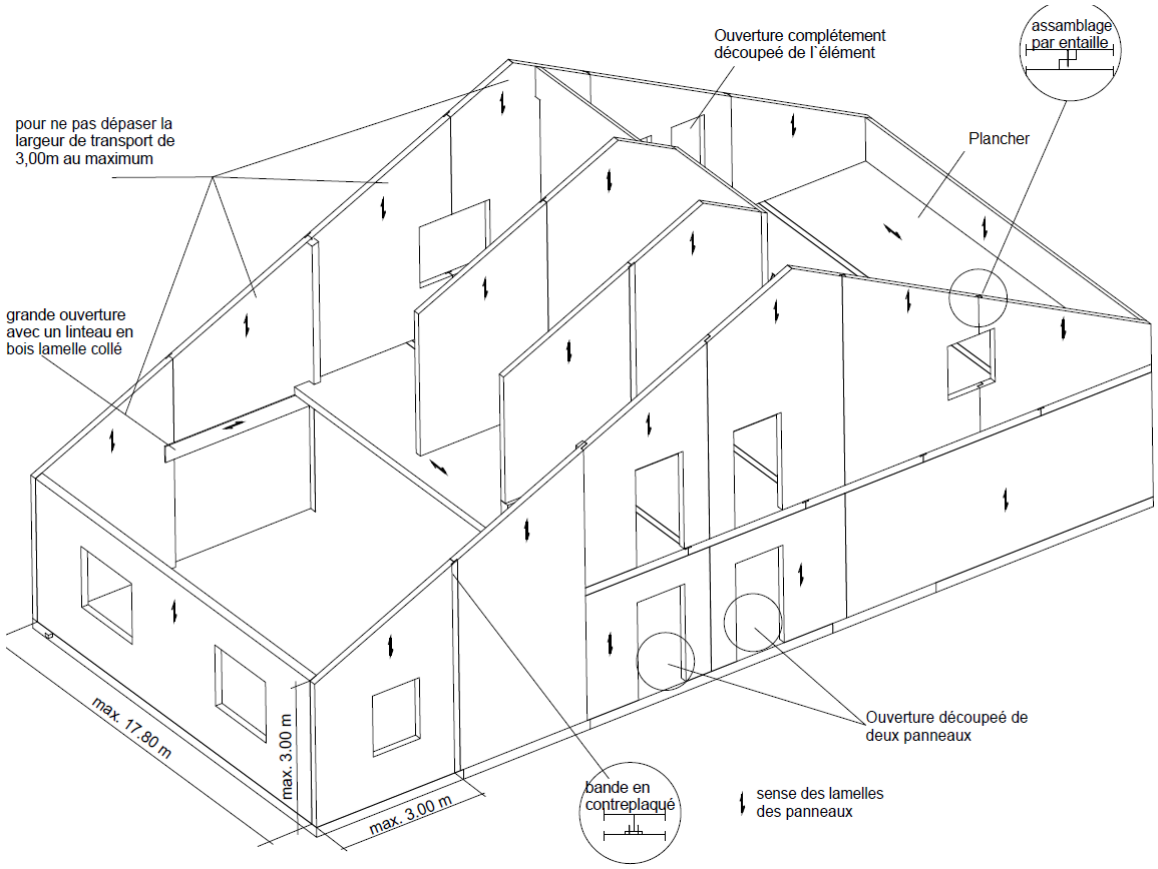
[1)] Pour la vérification de la compression transversale selon le chapitre 6, une valeur caractéristique de $f_{c,90,CLT,k} = 2{,}5$ N/mm² est choisie.

[2)] Cette valeur prend en compte le coefficient k_{cr} selon la norme NF EN 1995-1-1 : $f_{v,CLT,k} = k_{cr} \cdot f_{v,C24,k} = 0.67 \cdot 4.0 = 2.68$ N/mm².

[3)] Résistance caractéristique au cisaillement en cas de chargement dans le plan selon l'ETA-11/0189 tableau 3.

D. Principes constructifs

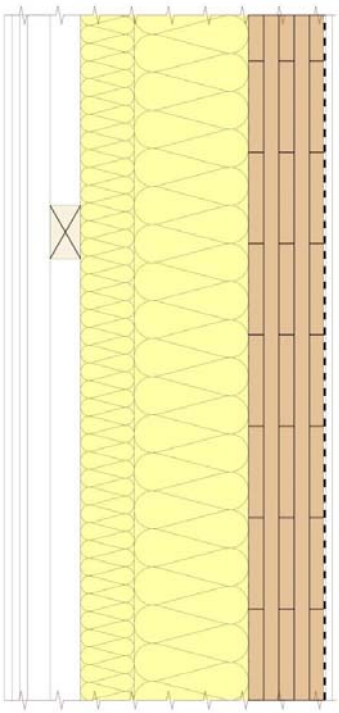
D.1 Principe général de conception



E. Détails « courants »

E.11 Structures de mur

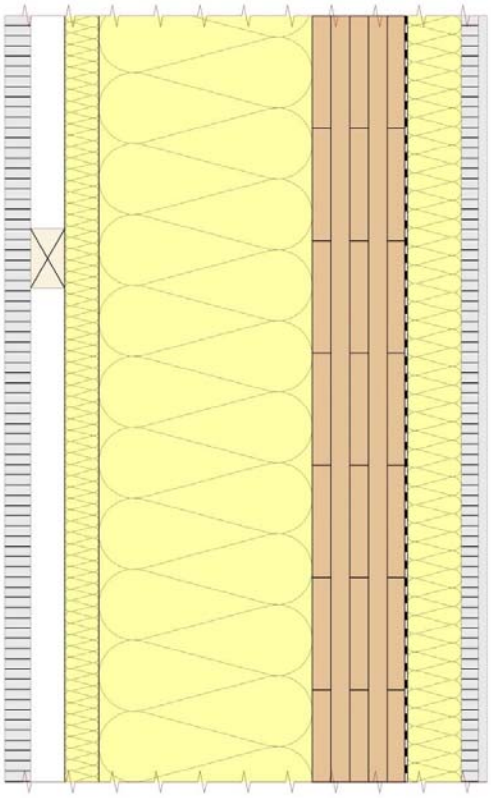
E.111 Exemple de composition avec bardage



Structure

- Bardage de façade en bois selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Isolant selon CGM DTU 31.2 ;
- Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Doublage en plaque de plâtre selon DTU 25.41 (non représenté).

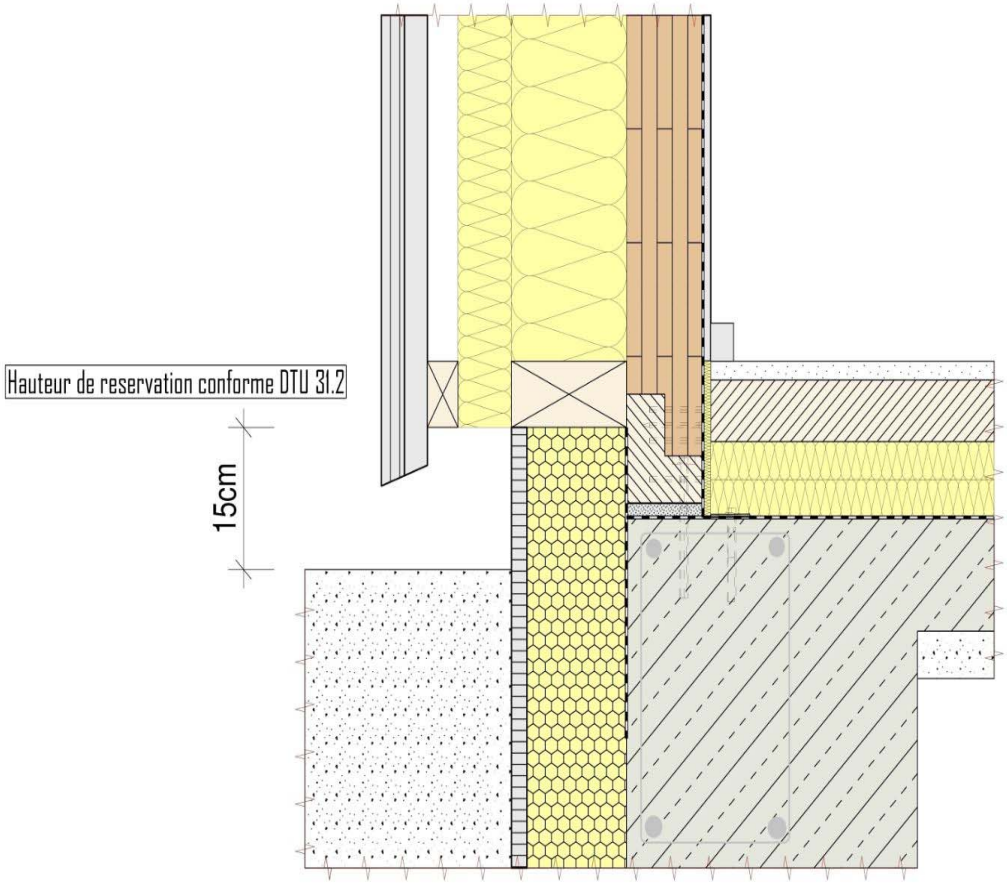
E.112 Exemple de composition avec bardage



Structure

- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Panneau de fermeture sur ossature secondaire ;
- Isolant selon CGM DTU 31.2 ;
- Panneau X-LAM X-110/5s ;
- Pare vapeur ;
- Doublage isolant type ouvrage en plaque de plâtre selon DTU 25.41.

E.113 Exemple d'appui sur dalle béton



Structure de plancher

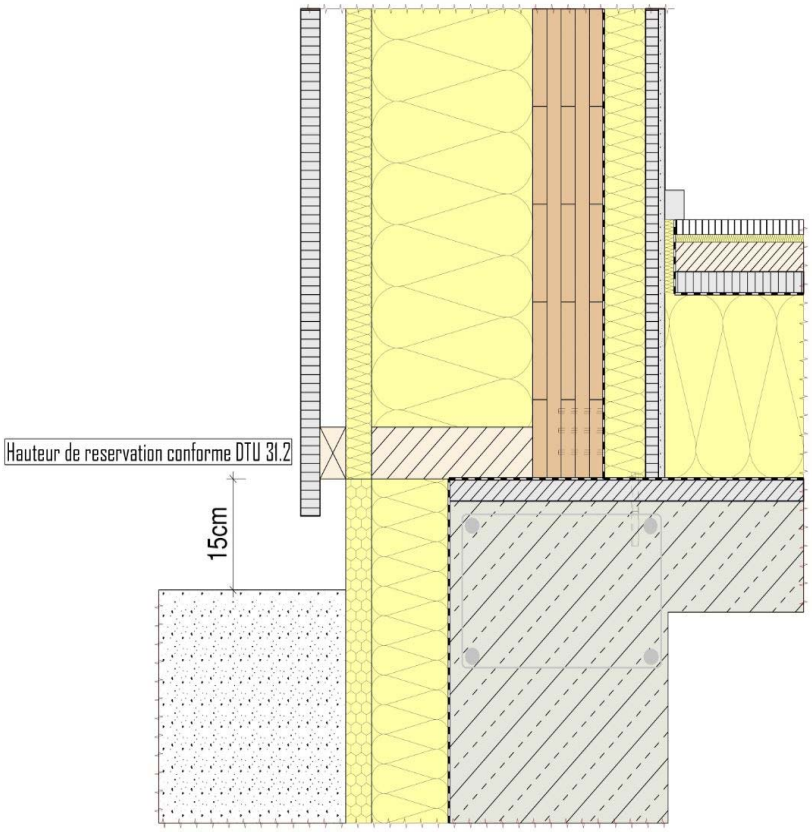
- Finition de sol ;
- Chape béton selon DTU 26.2 ;
- Isolation polystyrène extrudé ;
- Barrière contre les remontées capillaires ;
- Dalle béton.

Structure de mur

- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Panneau isolant rigide ;
- Isolation en fibres minérales en remplissage de l'ossature bois secondaire Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Doublage en plaque de plâtre (selon DTU 25.41) (non représenté).

Assemblage dalle/mur

- Mur reposant sur une lisse avec épaulement ;
- Fixation mur/lisse par équerre et vis.



Structure de plancher

- Revêtement de sol (parquet selon DTU 51.1) ;
- Couche isolante type fermacell ;
- Chape sèche sur granulat ;
- Barrière contre les remontées capillaires ;
- Mortier de nivellement ;
- Dalle béton.

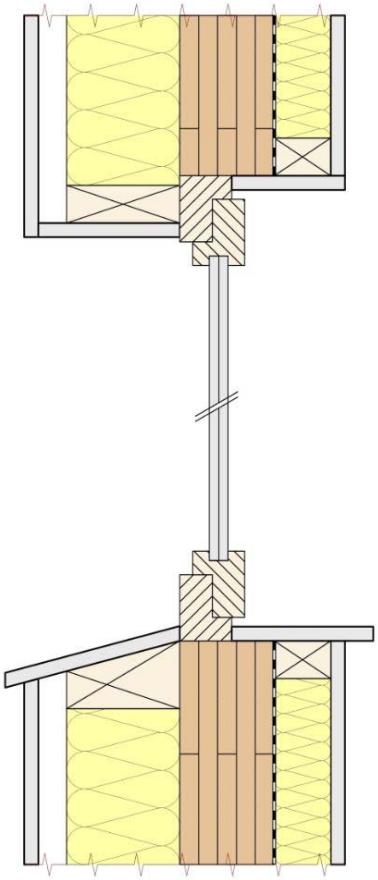
Structure de mur

- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Panneau de fermeture sur ossature secondaire ;
- Isolation en fibres minérales en remplissage de l'ossature bois secondaire ;
- Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Doublage isolant en plaque de plâtre selon DTU 25.41).

Assemblage dalle/mur

- Mur reposant sur la dalle ;
- Fixation mur/dalle par équerre et vis.

E.114 Exemple d'intégration d'une menuiserie

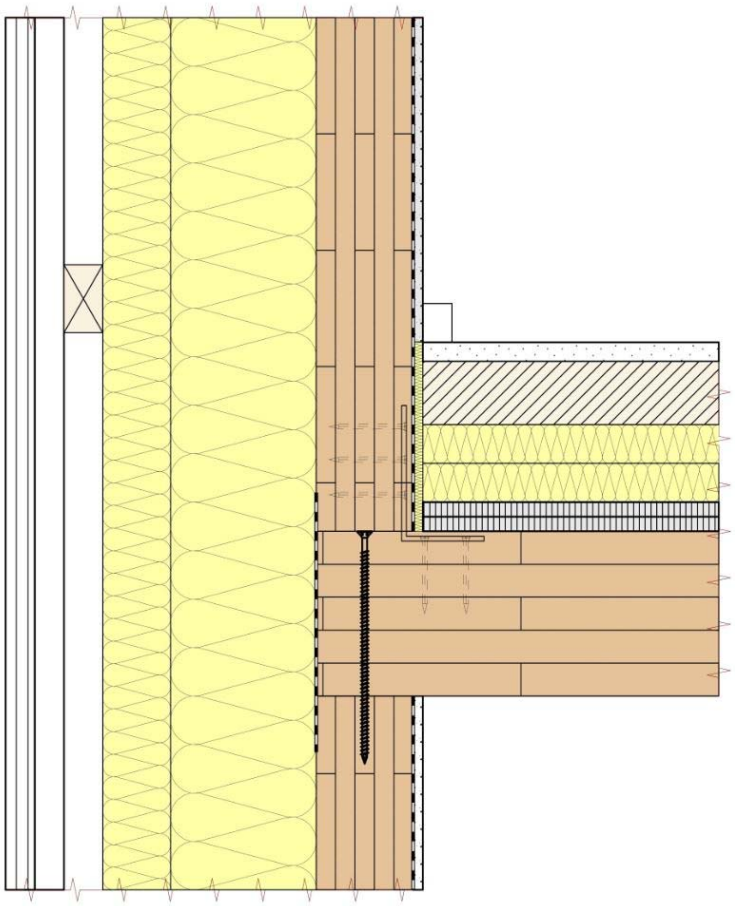


Structure de mur

- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Isolation en fibres minérales en remplissage de l'ossature bois secondaire ;
- Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Doublage isolant en plaque de plâtre selon DTU 25.41 ;
- Menuiserie posée en applique intérieur selon DTU 36.2.

E.12 Structures de plancher

E.121 Exemples de jonction plancher/mur



Structure de mur

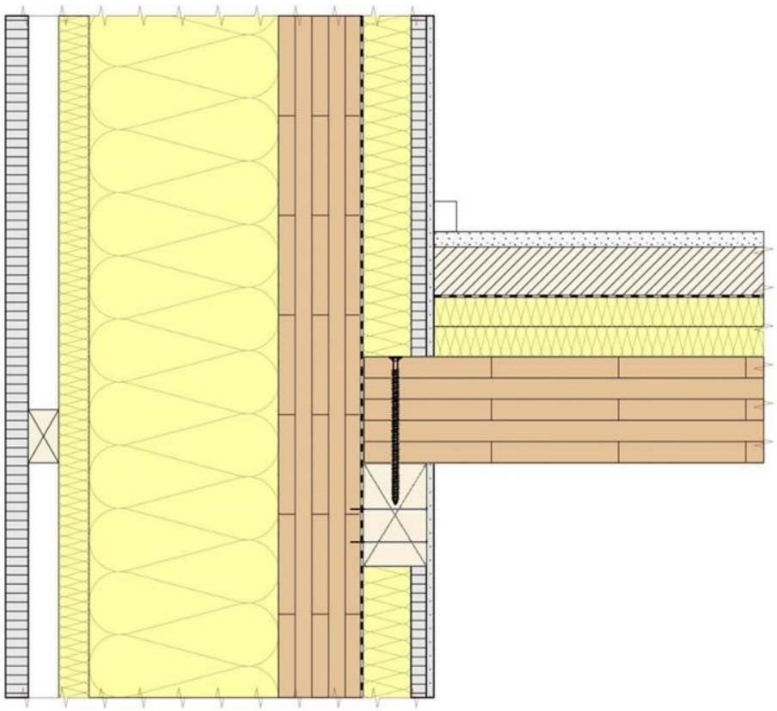
- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Panneau isolant rigide ;
- Isolation en fibres minérales en remplissage de l'ossature bois secondaire ;
- Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Exemple de finition intérieure.

Structure de plancher

- Revêtement de sol ;
- Chape de béton selon DTU 26.2 ;
- Résiliant/ Couche d'isolation acoustique ;
- X-LAM L-170/5s.

Jonction plancher/mur

- Vis depuis la face supérieure du plancher (jonction planch mur inférieur) ;
- Équerres de reprises (jonction plancher/mur supérieur).



Structure de mur

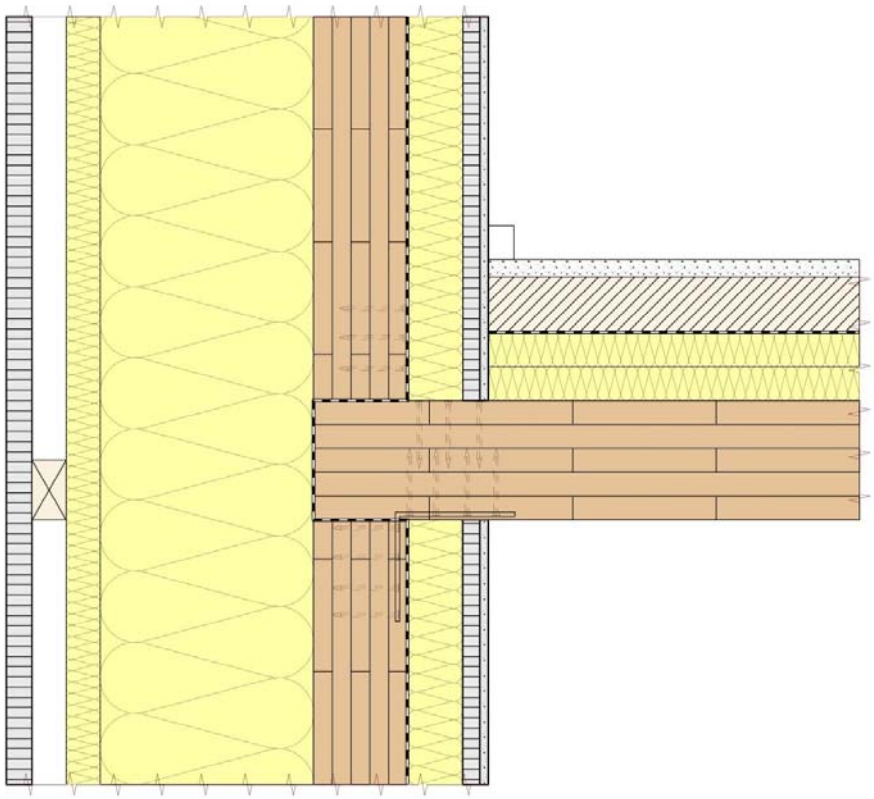
- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Panneau isolant rigide ;
- Isolation en fibres minérales en remplissage de l'ossature bois secondaire ;
- Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Exemple de finition intérieure.

Structure de plancher

- Revêtement de sol ;
- Chape de béton selon DTU 26.2 ;
- Résiliant/ Couche d'isolation acoustique ;
- X-LAM L-140/5s.

Jonction plancher/mur

- Vis depuis la face supérieure du plancher (jonction planch sur muralière bois vissée).



Structure de plancher

- Revêtement de sol ;
- Chape de béton selon DTU 26.2 ;
- Résiliant/Couche d'isolation acoustique ;
- X-LAM L-140/5s ;
- Exemple de finition.

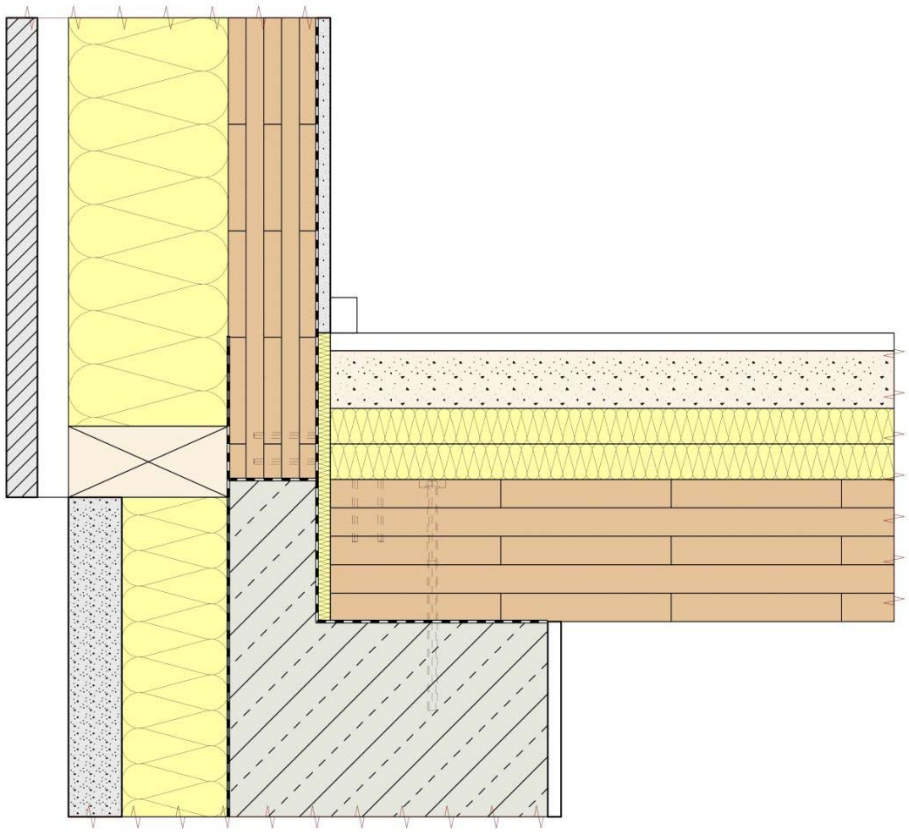
Structure de mur

- Bardage de façade en bois posé verticalement selon DTU 41.2 ;
- Liteau et lame d'air ;
- Pare pluie ;
- Panneau de fermeture sur ossature secondaire ;
- Isolation en fibres minérales en remplissage de l'ossature bois secondaire ;
- Panneau X-LAM X-100/5s ;
- Pare vapeur ;
- Doublage isolant en plaque de plâtre selon DTU 25.41.

Jonction plancher/murs

- Équerres de reprises (jonction plancher mur inférieur) ;
- Équerres de reprises (jonction plancher/mur supérieur).

E.122 Surélévation de l'existant



Structure

- Revêtement de sol (parquet) ;
- Chape de béton ;
- Isolation au bruit d´impact (isolation d'acoustique) ;
- X-LAM L-160/5s.