

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3206_V1

ATEx de cas a

Validité du 26/05/2023 au 26/05/2025



Copyright : société LEKO LABS SA

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

A LA DEMANDE DE :

LEKO LABS SA
20 RUE DU COMMERCE - 3895 FOETZ - Luxembourg

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3206_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de murs porteurs en bois LEKO LABS.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 26/05/2023, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : LEKO LABS SA, 20 RUE DU COMMERCE - 3895 FOETZ - Luxembourg
- Technique objet de l'expérimentation :
 - Procédé de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement LEKO LABS.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3206_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **26 mai 2025**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulés au §4.

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

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Le procédé de parois porteuses LEKO LABS préfabriqué a pour dimensions courantes 4,00 m de hauteur maximum et jusqu'à 6,00 m de longueur et est composé :

- De planches en bois massifs de classe minimum C24 conformes à la norme NF EN 14081. Les planches sont aboutées conformément à la norme NF EN 15497. Les Bois Massifs Aboutés peuvent :
 - Soit être réalisés par la société WoodJoint : Dans ce cas, s'agissant d'une production dédiée sans mise sur le marché, ils ne sont pas marqués CE et la société LEKO LABS réalise un contrôle des aboutages en interne conformément à la norme NF EN 15497 afin de s'assurer de la performance de ces derniers via des essais de flexion ;
 - Soit être réalisés par d'autres industriels et marqués CE. Dans ce cas aucun contrôle n'est réalisé en interne.

Les lamelles de bois présentent deux épaisseurs : 30 et 40 mm (après rabotage) et une largeur de 120 mm. La composition du cadre (le nombre de plis (3 ou 5) et l'espacement des montants verticaux) dépend des charges à reprendre. Les montants étant alignés, on obtient un poteau reconstitué au sens de l'annexe C de la norme NF EN 1995-1-1 et justifié comme tel vis-à-vis des charges verticales et hors plan. Les traverses assurent la liaison entre les montants et reconstituent un cadre pouvant reprendre les efforts de contreventement grâce aux liaisons rigides (collage).

- L'encollage est réalisé à l'aide d'un adhésif polyuréthane conforme à la NF EN 15425, de type I pour un usage structural en classe de service 1 et 2 au sens de la NF EN 1995-1-1.

Les ouvertures sont traitées également en usine. Dans ce cas, la composition spécifique du cadre autour de l'ouverture permet d'assurer de la « matière » continue tout autour de l'ouverture (remplissage des vides et/ou pose d'une lisse périphérique). Ceci permet la mise en œuvre des menuiseries selon les règles du NF DTU 31.2. Les vides du cadre permettent la mise en œuvre d'un isolant en panneaux semi-rigides. Un pare-pluie et un pare-vapeur sont mis en œuvre en usine. Ils assurent une protection temporaire pendant les phases de stockage et chantier.

Le dimensionnement du système est réalisé conformément à la norme NF EN 1995-1-1. Sur la base des notes de calculs fournies et des essais réalisés, il a été vérifié que le panneau était correctement dimensionné vis-à-vis des différents efforts.

1.2 – Sécurité des intervenants

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

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Les règles de sécurité incendie relatives au classement du bâtiment doivent être examinées au cas par cas par les intervenants du chantier, conformément aux textes en vigueur (IT249, bâtiment d'habitation, code du travail, etc...). Un Avis de Chantier ou

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3206_V1

une Appréciation de Laboratoire au Feu pour la résistance au feu et pour les bâtiments soumis à des exigences de propagation du feu par les façades est à réaliser pour chaque chantier par un laboratoire agréé. Les panneaux bruts bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2, d0 selon la norme NF EN 13501-1.

1.4 – Sécurité en cas de séisme

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

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Les panneaux font l'objet d'un autocontrôle lors de leur fabrication (conformité des matériaux, humidité du bois au moment du collage, vérifications sur produits finis, notamment résistance au cisaillement des joints de collage). Le PAQ de l'usine a été fourni par le demandeur. Un contrôle externe sera réalisé afin d'assurer la constance des performances du procédé.

2.2 – Mise en œuvre

La mise en œuvre des panneaux LEKO LABS relève de techniques usuellement pratiquées et est décrite dans le Dossier Technique. Celle-ci peut être réalisée par la société LEKO LABS SA ou tout autre entreprise sous la responsabilité de la société LEKO LABS SA. Un Plan d'Assurance Qualité au chantier a été établi et intègre les éléments techniques spécifiques au procédé (réception des éléments, conditions de réception des supports, tolérances, détails des points singuliers).

2.3 – Assistance technique

La conception et les calculs sont à la charge de la société LEKO LABS SA qui doit également fournir un plan de pose complet. Elle prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre.

3°) Risques de désordres

Moyennant le respect des recommandations ci-dessous, le procédé ne présente pas de risques de désordres particuliers.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

1. Ne pas mettre en œuvre de plancher béton sur le procédé LEKO LABS. Seuls les planchers mixtes bois/béton sous Avis Techniques, les panneaux CLT sous Avis Techniques, les panneaux nervurés sous Avis Techniques ou les planchers à solivage conformes au NF DTU 51.3 peuvent être utilisés sur le procédé LEKO LABS ;
2. Protéger le bois contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris par l'application des articles L. 126-6 et L. 131-3.

5°) Rappel

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

EN CONCLUSION

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

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

Champs sur Marne, Le 07 juin 2023
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Le présent document comporte 5 pages dont deux annexes ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3206_V1

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société LEKO LABS SA, 20 RUE DU COMMERCE - 3895 FOETZ - Luxembourg

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Le procédé de parois porteuses LEKO LABS préfabriqué a pour dimensions courantes 4,00 m de hauteur maximum et jusqu'à 6,00 m de longueur et est composé de planches en bois massifs de classe minimum C24 conformes à la norme NF EN 14081. Les planches sont aboutées conformément à la norme NF EN 15497.

Les lamelles de bois présentent deux épaisseurs : 30 et 40 mm (après rabotage) et une largeur de 120 mm. La composition du cadre (le nombre de plis (3 ou 5) et l'espacement des montants verticaux) dépend des charges à reprendre.

Les montants étant alignés, on obtient un poteau reconstitué au sens de l'annexe C de la norme NF EN 1995-1-1 et justifié comme tel vis-à-vis des charges verticales et hors plan. Les traverses assurent la liaison entre les montants et reconstituent un cadre pouvant reprendre les efforts de contreventement grâce aux liaisons rigides (collage).

L'encollage est réalisé à l'aide d'un adhésif polyuréthane conforme à la NF EN 15425, de type I pour un usage structural en classe de service 1 et 2 au sens de la NF EN 1995-1-1.

Les murs LEKO LABS sont destinés à la réalisation de Murs à Ossature Bois assimilables au NF DTU 31.2 uniquement en France métropolitaine pour les :

- Bâtiments d'habitations : jusqu'à la famille 3A et 3B ;
- Etablissements recevant du public : de la 2^{ème} à la 5^{ème} catégorie ;
- Bureaux.

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

Lorsqu'il est utilisé en mur de façade porteuse, le mur LEKO LABS est enveloppé d'un écran pare-pluie sur sa face orientée vers l'extérieur et il est enveloppé d'un écran pare-vapeur sur sa face intérieure. Le bois des murs préfabriqués par LEKO LABS n'est donc jamais directement exposé aux intempéries. Lorsqu'il est utilisé en mur intérieur (porteur ou non porteur), le mur LEKO LABS est enveloppé dans une membrane pare-pluie pour être protégé en phase chantier.

Les murs LEKO LABS vise les utilisations en France métropolitaine, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

Les murs LEKO LABS sont compatibles avec les planchers mixtes bois-béton sous Avis Technique, planchers nervurés sous Avis Techniques, les plancher CLT sous Avis Techniques et les planchers bois traditionnels. L'utilisation de planchers béton sur support LEKO LABS n'est pas visée.

L'aptitude au levage des éléments LEKO LABS n'a pas été analysée dans le cadre de cette évaluation.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie au sens de Cahier du CSTB n°3567, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$, avec :

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

Seuls les locaux ponctuellement et temporairement rafraîchis en période chaude par un système d'appoint associé à la ventilation mécanique, pour autant que la température de consigne soit telle que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur soit inférieure ou égale à 5°C sont visés

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 3206_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3206_V1

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 58 pages.

Procédé de murs LEKO LABS

« Dossier technique établi par le demandeur »

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

Datée du 13 juin 2023

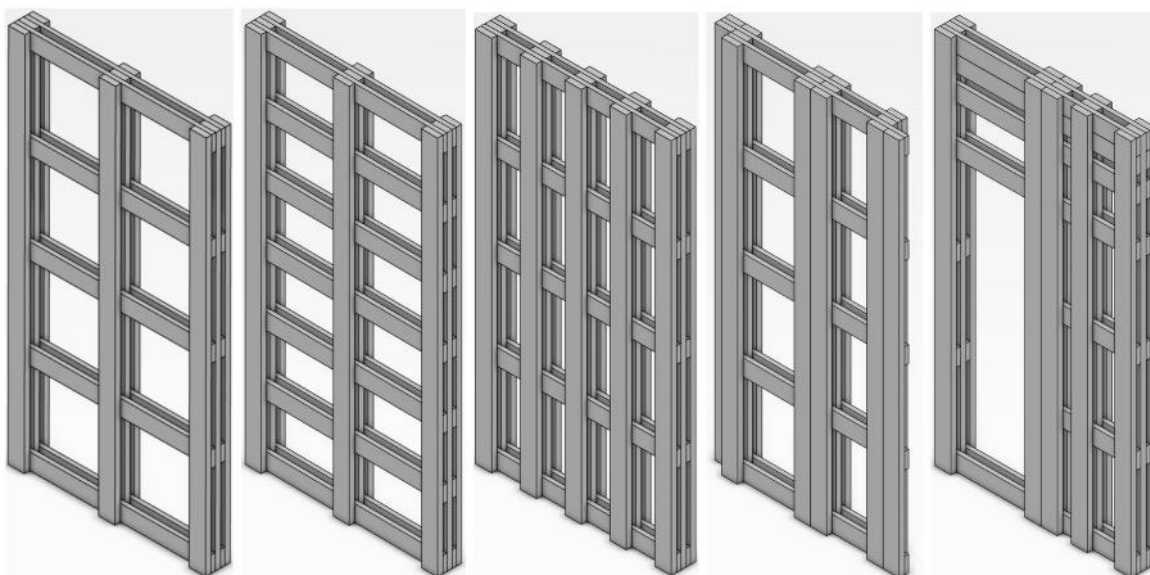
A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3206_V1.

Fin du rapport

Dossier Technique Préliminaire

Mur LEKO LABS

Demande d'ATEX de cas a



Sommaire

1	Principe.....	4
2	Domaine d'emploi proposé	5
3	Définition des matériaux.....	6
3.1	Grumes.....	6
3.2	Lamelles de bois.....	6
3.3	Panneaux d'isolation.....	6
3.4	Collage et assemblage	6
3.5	Produit de préservation.....	7
4	Description des panneaux.....	8
4.1	Caractéristiques physiques des panneaux.....	8
5	Fabrication et contrôle.....	8
5.1	Fabrication.....	8
5.1.1	Etapes de fabrication	8
5.1.2	Caractéristiques géométriques des panneaux	12
5.1.3	Assemblage des lamelles de bois.....	13
5.2	Contrôle.....	14
5.2.1	Identification et marquage.....	14
5.2.2	Contrôle interne	14
5.2.3	Contrôle externe	15
6	Dimensionnement des panneaux.....	16
6.1.1	Vérification aux charges verticales.....	16
6.1.2	Vérification sous sollicitations combinées	18
6.1.3	Vérification des connexions	22
6.1.4	Vérification au contreventement.....	24
7	Dimensionnement en zone sismique.....	26
8	Mise en œuvre	26
8.1	Transport	26
8.2	Stockage sur chantier	26
8.3	Phase de mise en œuvre	26
8.4	Assemblage.....	27
8.5	Intégration des menuiseries	27
9	Assistance technique	27
10	Données environnementales et sanitaires.....	28
11	Carnet de détails	29
11.1	Détails courants d'interface Mur LEKO LABS - Acier	29

11.2	Détails courants d'interface Mur LEKO LABS - béton	30
11.2.1	Détails courants de connexions de Murs LEKO LABS	32
11.3	Détails courants d'utilisation du Mur LEKO LABS en façade.....	34
11.4	Détails courants d'interface entre murs LEKO LABS et planchers bois	36
12	Références.....	40
12.1	Chantier Septfontaines	40
12.2	Chantier Hobscheid	41
13	Annexes	42
13.1	Extraits du des Murs LEKO LABS.....	42
13.2	Masse surfacique des Murs LEKO LABS.....	56
13.3	Coupe des lamelles	57

1 Principe

Les panneaux de mur LEKO LABS sont des murs à ossature bois à plusieurs plis qui combine des propriétés structurales et thermiques. Il s'apparente à un panneau CLT avec ajout d'isolant.

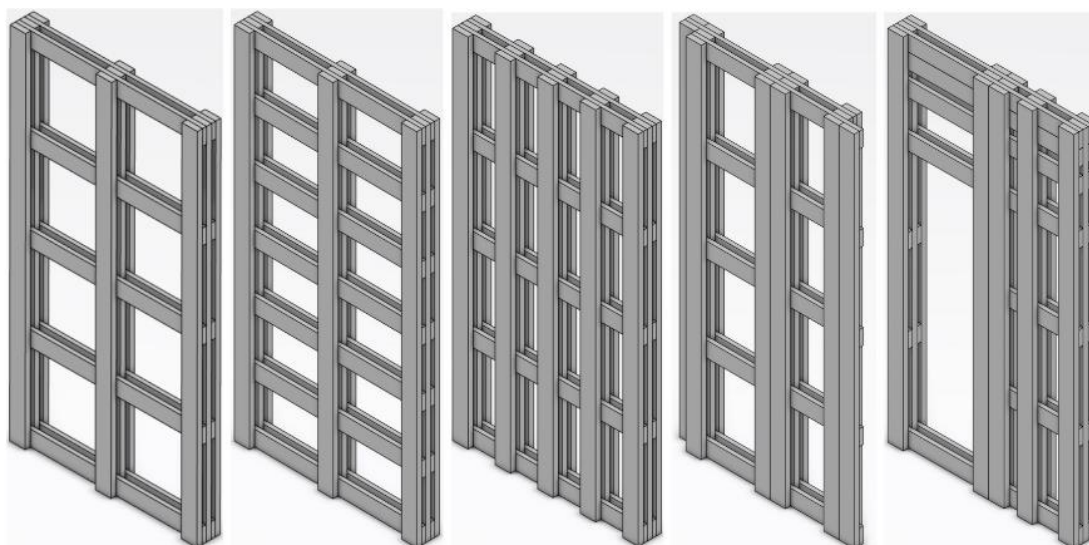
Plus précisément, les panneaux de mur LEKO sont des panneaux de grandes dimensions constitués de lamelles en bois massif aboutés, empilées en plis croisés à 90° sur 3 ou 5 plis. On définit comme plis, une alternance de lamelles de bois massif abouté et de bandes d'isolant sur un même plan. Les lamelles régulièrement espacées constituant chaque pli sont collées et vissées entre elles à leurs intersections (les vis permettent d'assurer une pression de serrage suffisante pour le collage mais ne sont pas prises en compte d'un point de vue tenue mécanique). Un film pare-pluie/pare-vapeur est posé sur les deux faces du panneau.

Les panneaux de mur LEKO LABS sont destinés à la réalisation 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, en association avec des éléments de structure autres.

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

On distingue les lamelles verticales et horizontales, respectivement montants et traverses. Lorsque plusieurs montants ou plusieurs traverses occupent la même position dans le plan du mur sur l'ensemble des couches, on parle de groupement (groupe de montants, groupe de traverses).

Pour atteindre les qualités structurales requises, l'entraxe des montants et des traverses, ainsi que le nombre de plis est variable, ce qui confère au mur LEKO une certaine modularité.



2 Domaine d'emploi proposé

Les murs LEKO LABS sont destinés à la réalisation de Murs à Ossature Bois assimilables au NF DTU 31.2 uniquement en France métropolitaine pour les :

- Bâtiments d'habitations : jusqu'à la famille 3A et 3B ;
- Etablissements recevant du public : de la 2^{ème} à la 5^{ème} catégorie ;
- Bureaux.

Les classes de service visées par le procédé de mur LEKO LABS au sens de la norme NF EN 1995-1-1 : la classe de service 1 et 2.

Les classes d'emploi visées par le procédé de mur LEKO LABS au sens de la norme NF EN 335 : la classe d'emploi 1 et 2.

Lorsqu'il est utilisé en mur de façade porteuse, le mur LEKO LABS est enveloppé d'un écran pare-pluie sur sa face orientée vers l'extérieur et il est enveloppé d'un écran pare-vapeur (sur sa face intérieure. Le bois des murs préfabriqué par LEKO LABS n'est donc jamais directement exposé aux intempéries. Lorsqu'il est utilisé en mur intérieur (porteur ou non porteur), le mur LEKO LABS est enveloppé dans une membrane pare-pluie pour être protégé en phase chantier.

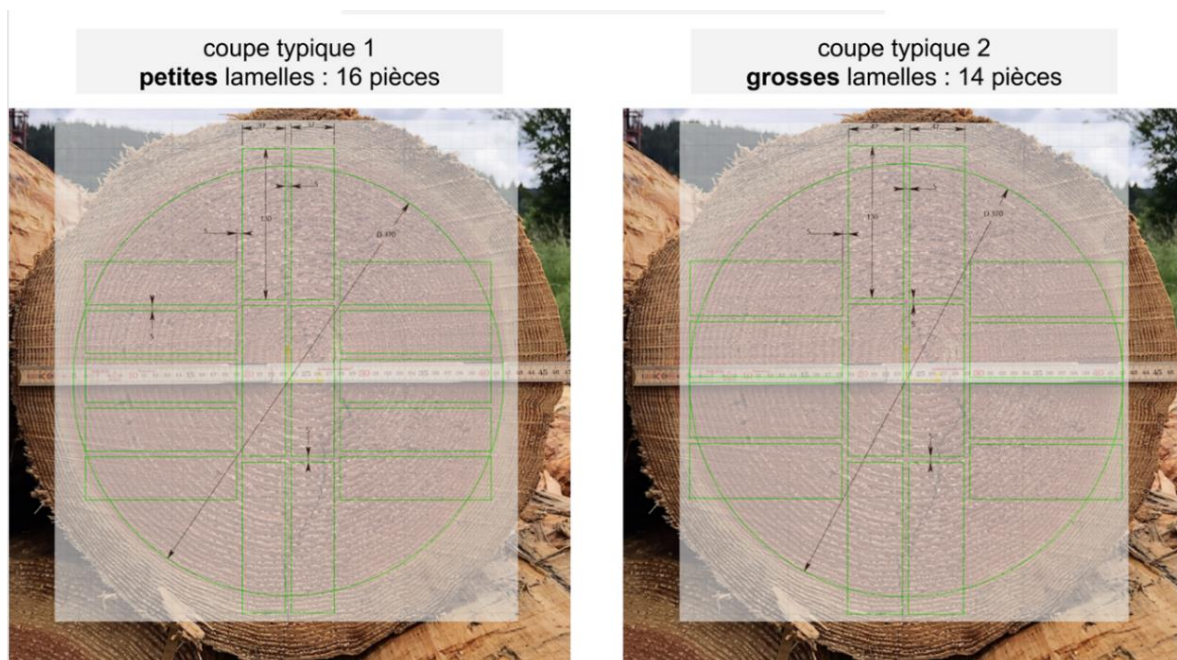
La zone géographique visée est la France Métropolitaine, zones sismiques 1 à 4 (au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié), toutes les zones de vent et les zones de neige de A1 à E.

Les murs LEKO LABS sont compatibles avec les planchers mixtes bois-béton sous Avis Technique, planchers nervurés sous Avis Techniques, les planchers CLT sous Avis Techniques et les planchers bois traditionnels. L'utilisation de planchers béton sur support LEKO LABS n'est pas visée.

3 Définition des matériaux

3.1 Grumes

Dans le cadre global du Plan d'Assurance Qualité (PAQ), une coupe en quartiers/faux-quartiers est exigée auprès des partenaires scieurs pour éviter des variations dimensionnelles trop importantes liées aux changements d'hygrométrie. La coupe est également purgée d'aubier pour pouvoir utiliser le bois de Sapin de Douglas sans traitement en classe 2.



3.2 Lamelles de bois

Les lamelles assemblées pour réaliser les murs LEKO LABS sont en bois de Sapin de Douglas massif abouté.

LEKO LABS réceptionne de ses fournisseurs des lamelles aboutées purgées de défauts (épaisseur variant de 40 à 45 mm d'épaisseur). Ces lamelles sont triées visuellement (selon EN 14081-1) en deux classes de qualité : A et B. Les lamelles de qualité A, de classe de résistance C24 minimum, sont utilisées pour les murs structuraux. Les lamelles de qualité B sont utilisées pour les cloisons non-porteuses.

3.3 Panneaux d'isolation

Les espaces vides obtenus par l'optimisation structurale sont remplis par des panneaux d'isolation (isolants type laine de verre, laine de roche ou fibre de bois, conformes au DTU 31.2 ou sous Avis Technique). Le choix de l'isolation est réalisé conjointement avec le maître d'ouvrage en fonction des performances souhaitées (performance thermique, performance au feu, performance acoustique).

3.4 Collage et assemblage

L'adhésif utilisé ne contient pas de formaldéhydes et est conforme aux normes NF EN 301, NF EN 302 et NF EN 15425. De plus, il est de type I selon la NF EN 301, ce qui permet un usage structural des panneaux pour les classes de service 1 et 2 suivant la NF EN 1995-1-1 et son annexe nationale.

La pression d'assemblage entre deux lamelles est assurée par les vis et permet de satisfaire aux exigences d'utilisation de l'adhésif.

3.5 Produit de préservation

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les panneaux LEKO LABS aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée (douglas).

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 LEKO LABS.

Conformément à la réglementation en vigueur, les panneaux LEKO LABS 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 des articles L. 126-6 et L. 131-3.

Les bâtiments neufs doivent être conçus et construits de façon à résister à l'action des termites et autres insectes xylophages. A cet effet doivent être mis en œuvre, pour les éléments participant à la solidité des structures, soit des bois naturellement résistant aux insectes ou des bois ou matériaux dérivés dont la durabilité a été renforcée, soit des dispositifs permettant le traitement ou le remplacement des éléments en bois ou matériaux dérivés.

4 Description des panneaux

4.1 Caractéristiques physiques des panneaux

La **masse surfacique** des panneaux est spécifiée dans l'annexe *Masse surfacique des Murs LEKO LABS* et la masse des lamelles en bois de Douglas constituant les panneaux LEKO LABS est calculée en prenant la masse volumique moyenne de la norme NF EN 338.

La **précision dimensionnelle** de la préfabrication des panneaux est telle que présentée dans le PAQ et contrôlé tout au long du processus de fabrication (usinage et assemblage, voir partie Fabrication et Contrôle et PAQ).

Comme dans un Mur LEKO LABS au maximum deux lamelles peuvent être contigües, c'est-à-dire en contact entre elles sur leur flanc, et que leur largeur est de 120 mm, le cas extrême qui consisterait à calculer le gonflement d'une lamelle contrainte sur son flanc par une autre, sortant de l'usine avec une teneur en eau de 12% et se stabilisant à 18% impliquerait une déformation théorique maximale de 1.6 mm de sa largeur (calcul effectué suivant le coefficient de retrait-gonflement tangentiel du sapin de Douglas). C'est pourquoi LEKO LABS prévoit 3 mm de jeu horizontal entre les flancs des panneaux pour le montage sur chantier.

La variation hors plan du panneau non-chargé est aussi due à l'hygrométrie et la préfabrication.

Un scénario hygrométrique identique au précédent impliquerait, pour un mur de 180 mm d'épaisseur, un gonflement maximum de 3 mm. De plus, le défaut de rectitude des murs n'est jamais supérieur à 5 mm pour des murs de 3 m de hauteur, ce qui respecte les exigences de l'Eurocode 5.

La **résistance au feu** du Mur LEKO LABS doit être déterminée :

- Soit par un procès-verbal d'essai (délivré par un laboratoire agréé)
- Soit par un Avis de Chantier (au cas par cas) ou une Appréciation de Laboratoire au Feu, réalisés par un des trois organismes notifiés (CSTB, EFECTIS, CERIB)
- Soit par le dimensionnement d'un écran thermique pour la durée visée (méthode de calcul et règle de dimensionnement selon l'Eurocode 5 partie 1-2)

Le Mur LEKO LABS a fait l'objet de deux essais au feu (voir deux PV de classement en annexe ainsi qu'une extension de classement).

Pour les bâtiments soumis à des exigences de **propagation du feu par les façades** le procédé devra faire l'objet d'un Avis de Chantier au cas par cas ou d'une Appréciation de Laboratoire au Feu, réalisés par un des trois organismes notifiés (CSTB, EFECTIS et CERIB).

5 Fabrication et contrôle

5.1 Fabrication

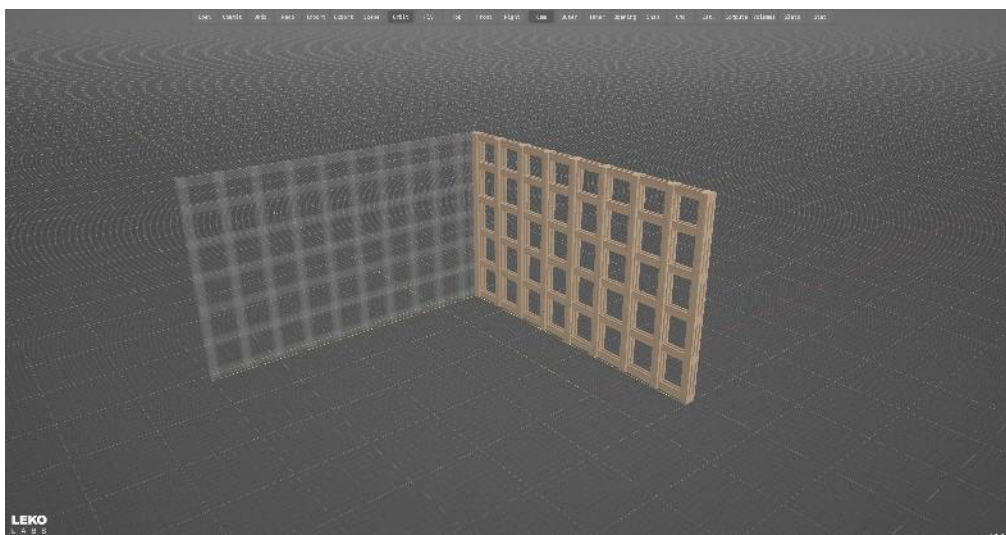
5.1.1 Etapes de fabrication

Tous les panneaux de Mur LEKO LABS sont fabriqués par LEKO LABS sur son site de production au Luxembourg, au 20 rue du Commerce, L-3895 Foetz.

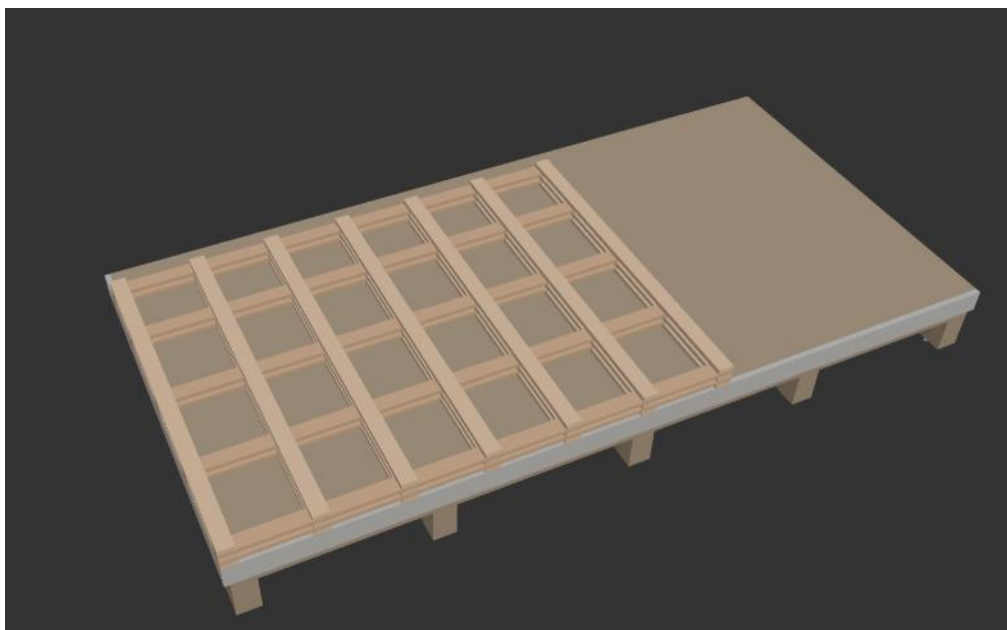
Le processus de fabrication industrialisé du panneau de Mur LEKO LABS :

1. Fourniture des Bois Massifs Aboutés

- a. Option 1 : Fabrication spécifique de bois abouté par WoodJoint pour Leko Labs selon EN15497 mais non marqué CE et contrôle de l'aboutage par Leko Labs
- b. Option 2 : Fourniture de BMA marqué CE selon EN15497
2. **Contrôle des défauts réception du bois** : classement des lamelles brutes aboutées (voir le mode opératoire pour le classement des lamelles en deux classes A et B dans le Plan d'Assurance Qualité)
3. **Contrôle de la teneur en humidité** : vérification de l'humidité $12\% \pm 2\%$ (voir le détail de la fréquence d'échantillonnage et de points de contrôle dans le Plan d'Assurance Qualité)
4. **Contrôle dimensionnel avant usinage** : contrôle de l'épaisseur et de la largeur des lamelles de bois brutes pour réglage de la machine de rabotage 4 faces (voir le détail de la fréquence d'échantillonnage et de mesures de contrôle dans le Plan d'Assurance Qualité)
5. **Conception du panneau** : Le panneau est conçu à l'aide d'outils de CAO (logiciel propriétaire de LEKO LABS) par le bureau d'étude interne. Le logiciel permet de générer automatiquement les espacements en fonction des besoins structuraux ainsi que de gérer les connexions entre éléments, les ouvertures et réservations.



6. **Génération des fichiers de production** : Le panneau est transmis à l'équipe de production via ce même outil. L'équipe de production peut alors visualiser le panneau à produire et obtient un fichier machine pour chaque lamelle à usiner (épaisseur, longueur)



7. **Calibrage des lamelles (section)** : La section des lamelles est réduite à la section finie le jour de production, afin d'avoir des surface planes nécessaires au collage (ex : 45x125 mm² à 40x120 mm²).



8. **Calibrage des lamelles (longueur)** : Les lamelles sont découpées dans leur longueur selon le fichier machine généré par le logiciel LEKO LABS. A cette étape, chaque lamelle est marquée avec son numéro d'identification unique. Les surfaces de connexions (intersection de deux lamelles de 120 mm x 120 mm) sont également marquées pour être facilement identifiées lors du montage (perçage au centre la surface et positionnement d'un tourillon pour faciliter l'emboîtement, voir Plan d'Assurance Qualité pour plus de détails).

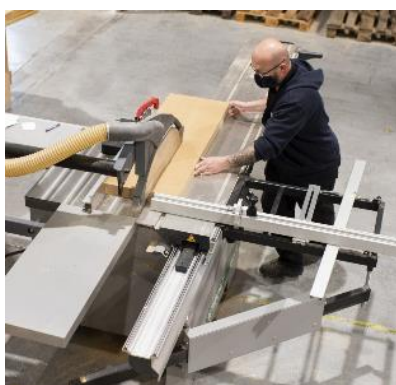
Les ouvertures et réservations sont prises en compte dans la gestion des découpes afin de créer un cadre plein pour permettre la mise en œuvre ultérieure des menuiseries selon le DTU 31.2 (voir exemples dans les détails).

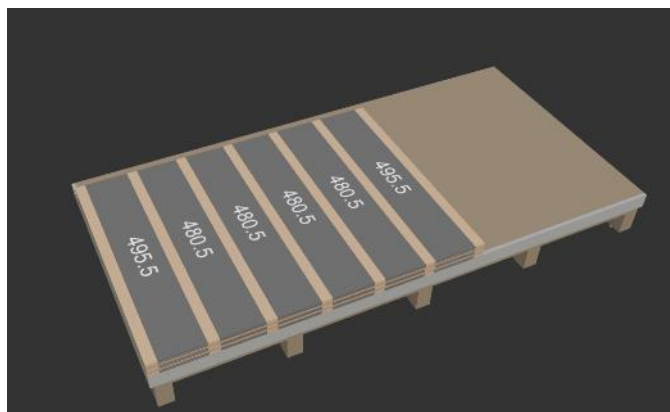


9. **Assemblage des lamelles** : Les lamelles sont acheminées à la table d'assemblage et disposées couche par couche avec l'aide du logiciel LEKO LABS qui permet d'identifier les lamelles par leur numéro unique.



10. **Découpe et mise en place des panneaux d'isolant** : Les panneaux d'isolation sont prédécoupés et installés à chaque pli. Le logiciel LEKO LABS permet de voir les largeurs d'isolant à disposer à chaque couche, entre deux lamelles.





11. **Encollage** : Les intersections entre les lamelles, entre les couches, sont reliées à l'aide d'adhésifs et de vis. Des tourillons de positionnement (insérés dans les trous percés à l'étape 7. *Calibrage des lamelles (longueur)*) permettent de placer facilement les lamelles face à face pour établir la connexion.

5.1.2 Caractéristiques géométriques des panneaux

Un panneau est composé de 3 ou 5 couches. La première et la dernière couche sont toujours verticales. Les différents panneaux usuellement fabriqués sont composés de :

- 3 couches
 - 30 mm + 30 mm + 30 mm = 90 mm
 - Mur non-porteur, utilisé comme cloison
 - 40 mm + 30 mm + 40 mm = 110 mm
 - Mur porteur applicable aux maisons unifamiliales
- 5 couches
 - 30 mm + 30 mm + 30 mm + 30 mm + 30 mm = 150 mm
 - Mur porteur, applicable aux maisons unifamiliales plus exigeantes structuralement
 - 40 mm + 30 mm + 40 mm + 30 mm + 40 mm = 180 mm
 - Mur porteur, appliqué aux bâtiments de plusieurs étages

La modularité des panneaux LEKO LABS est aujourd'hui limitée par les paramètres technico-financiers suivants :

- En prenant en compte les gabarits d'usinage et de transport, les dimensions maximales d'un panneau LEKO LABS sont les suivantes : **4000 mm x 6000 mm**.
- Les lamelles de bois aboutées présentent deux épaisseurs possibles : **30 mm** et **40 mm**.
- Les lamelles présentent une largeur unique : **120 mm** (seule la longueur des lamelles peut varier).
- Pour une question de rentabilité d'usinage du produit, les dimensions des bandes d'isolants sont celles des fournisseurs : **1350 mm x 575 mm x 30 mm** et **1350 mm x 575 mm x 40 mm**. Des bandes de 4/5, 3/5, 2/5 et 1/5 de la largeur standard (575mm) peuvent être utilisées. Il est également possible de faire des découpes sur-mesure.

Le traitement des charges ponctuelles se fait dès la conception et le calepinage en ajoutant un (ou plusieurs) groupe(s) de montants (poteau reconstitué) au droit de la charge (voir la Figure 4 où des encoches sont prévues pour poser des poutres en début et fin de panneau, voir également les photos du chantier sur le projet de référence d'Hobscheid – chapitre 12.2, voir également dans le carnet de détail – chapitre 11, Figure 26).

Des fourrures sont ajoutées pour la reprise des efforts (remplissage des plis de montants par des éléments de bois horizontaux).

5.1.3 Assemblage des lamelles de bois

Deux couches de lamelles sont assemblées successivement entre elles par collage (voir les deux schémas ci-après). Les vis utilisées pour l'assemblage servent à maintenir une pression de serrage suffisante pendant la prise de la colle.

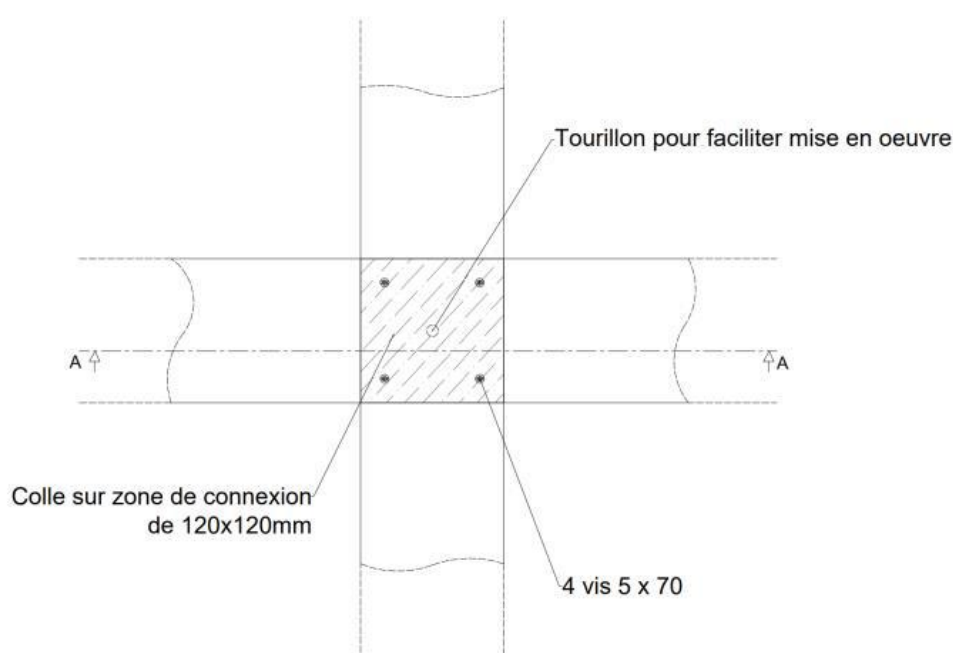


Figure 1. Figure 2. Schéma de connexion

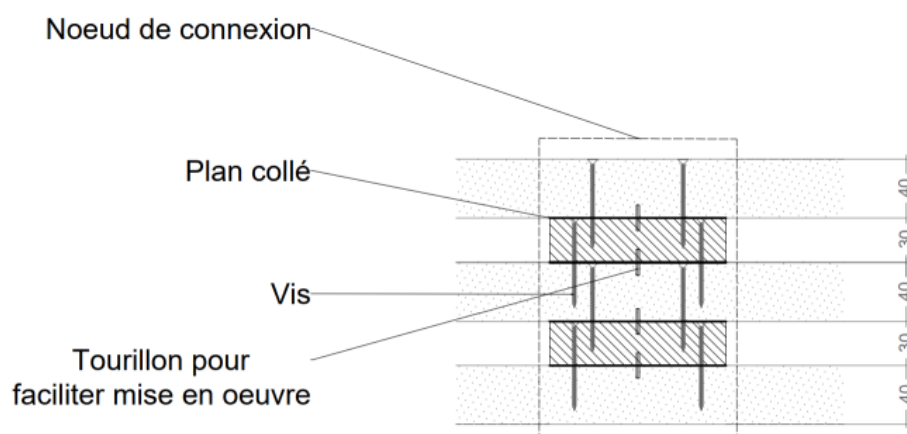


Figure 3. Schéma Connexion – Coupe – Exemple d'assemblage de plusieurs couches

5.2 Contrôle

5.2.1 Identification et marquage

L'identification des panneaux LEKO LABS est faite de la manière suivante :

- Numéro de projet
- Numéro du site
- Numéro du bâtiment
- Numéro de l'étage
- Numéro de panneau

Ainsi, le panneau 8 de l'étage 1 du bâtiment 9 sur le site GOSS du projet 9995 aura une étiquette comportant l'identifiant : 9995-GOSS-0-1-8-8.

Cette identification permet d'assurer une traçabilité tout au long de la chaîne de production. De la même manière, chaque lamelle de bois qui constitue le panneau est identifiée dès le début de la production au moment de la coupe à bonne longueur. Sur la capture d'écran ci-dessous (capture d'écran du logiciel interne propriétaire de LEKO LABS), en violet est sélectionnée la lamelle 3 de la 5^{ème} couche du panneau. Ainsi, chaque lamelle dispose d'un identifiant unique (marqué sur la lamelle).

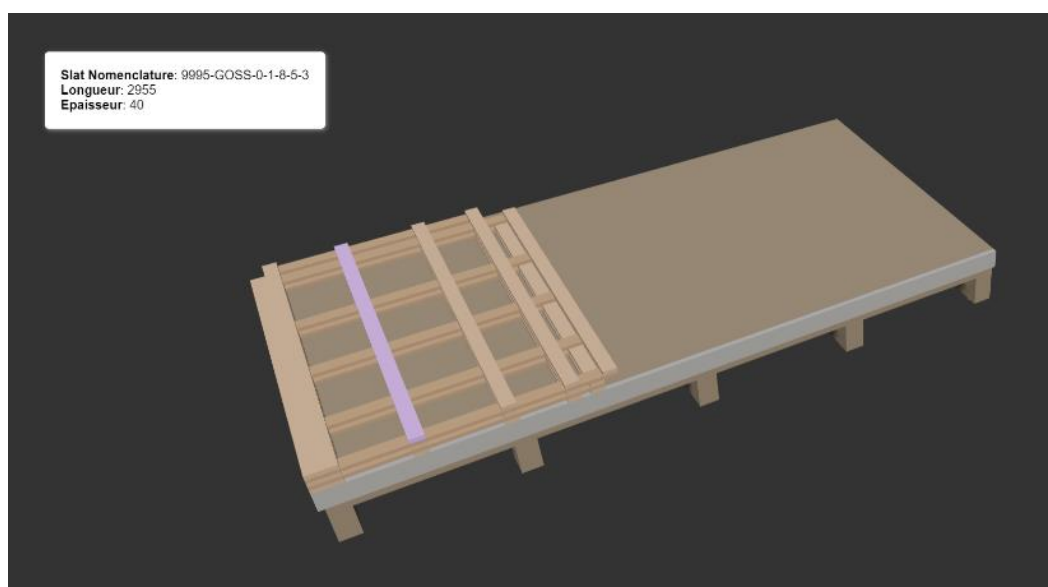


Figure 4. Visualisation d'un panneau dans le logiciel propriétaire de LEKO LABS et visualisation des propriétés d'une lamelle (dimensions et numéro d'identification)

5.2.2 Contrôle interne

Un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) est mis en place pour garantir de la qualité et de la constance des Mur LEKO LABS qui sortent de l'usine. Le contrôle se fait tout au long de la ligne de production, depuis la réception des matériaux jusqu'à l'assemblage et l'emballage des panneaux dans leur membrane de protection.

Les étapes clés du PAQ sont les suivantes :

- Contrôle des défauts réception du bois
- Contrôle des aboutages (si BMA non marqué CE)
- Contrôle de la teneur en humidité
- Contrôles dimensionnels avant usinage
- Contrôle après usinage

- Contrôle du collage en phase d'assemblage
- Contrôles dimensionnels en phase d'assemblage

Ces différents points de contrôle s'appuient sur plusieurs essais réalisés pour s'assurer de la qualité du plan de collage et de la qualité du matériau abouté :

- Vérification de la résistance et de la durabilité des plans de collage entre couches, selon la norme du produit CLT (NF EN 16351) :
 - o Essai de cisaillement des joints de colle :
 - Essai réalisé selon l'annexe D
 - Fréquence : 2 échantillons par poste
 - o Contrôle de l'épaisseur du joint de colle :
 - Fréquence : sur chaque échantillon prélevé
 - o Essai de délamination :
 - Essai réalisé selon l'annexe C
 - Fréquence : 2 fois par an par un organisme extérieur
- Vérification de la résistance en flexion du bois abouté :
 - o Essai de flexion des lamelles avec aboutage :
 - Essai réalisé conformément à la norme NF EN 15497
 - Fréquence : 3 échantillons par poste

5.2.3 Contrôle externe

Le contrôle externe est réalisé 1 fois par an sur le site de production par un organisme habilité. Le contrôle porte sur :

- La production : examen détaillé du processus de production, depuis les matières premières jusqu'aux produits finis
- L'autocontrôle réalisé et sur des échantillons prélevés pour la réalisation d'essais : contrôle interne présenté précédemment.

L'organisme de contrôle pourra également procéder à des prélèvements d'échantillons pour réaliser lui-même des essais : contrôle de l'aboutage, cisaillement et délamination.

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

6 Dimensionnement des panneaux

La vérification de la stabilité générale et le dimensionnement des panneaux de Mur LEKO LABS doivent être réalisés en prenant en compte :

- Le chargement permanent
- Le chargement d'exploitation
- Les actions climatiques (neige et vent)
- Les actions sismiques

Conformément aux Eurocodes (Eurocode 1 pour la détermination des charges et Eurocode 5 pour le calcul des structures en bois).

Le dimensionnement des panneaux de Mur LEKO LABS doit permettre de vérifier la résistance aux charges verticales, la vérification aux charges horizontales (vérification au contreventement, vérification à la flexion hors plan), la conception des assemblages ainsi que le comportement en zone sismique.

6.1.1 Vérification aux charges verticales

La vérification aux charges verticales des panneaux de Mur LEKO LABS est faite selon la méthodologie proposée en annexe C de l'Eurocode 5 « Poteaux reconstitués » (NF EN 1995-1-1). Chaque groupe de montants est considéré comme un poteau reconstitué (plus précisément un poteau à membrures espacées où l'espacement est assuré par les traverses) :

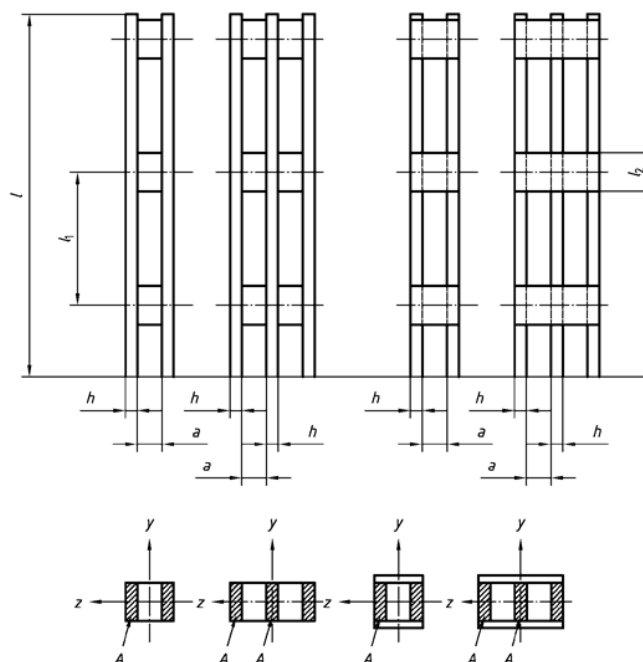


Figure 5. Poteaux à membrures espacées (Figure issue de l'annexe C de l'Eurocode 5)

Les hypothèses permettant de considérer les groupes de montants comme des poteaux à membrures espacées sont vérifiées.

6.1.1.1 Vérification à la compression

Il convient de vérifier que la contrainte parallèle au fil dans chaque lamelle :

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

Où :

- $\sigma_{c,0,d}$ est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil
- $f_{c,0,d}$ est la valeur de calcul de la résistance de compression parallèle au fil

6.1.1.2 Vérification de la résistance dans la direction y

Dans la direction y, conformément à l'Eurocode 5 Annexe C, la capacité résistante est prise égale à la somme des capacités résistantes des éléments individuels.

6.1.1.3 Vérification de la résistance dans la direction z

Dans la direction z, conformément à l'Eurocode 5 Annexe C, il convient de vérifier :

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}$$

Où :

- $k_{c,y}$ est déterminé selon l'Eurocode 5 (6.3.2)
- $\sigma_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,d}}{A_{tot}}$ avec A_{tot} l'aire de la section transversale totale (pour des valeurs de n = 2, 3 ou 4) :

$$A_{tot} = \sum_{i=1}^n A_i = \sum_{i=1}^n h_i \times l_1 = h \times l_2 \times 2 + h_m \times l_2 \times (n - 2)$$

- if n = 2

$$\bullet I_{tot} = \frac{l_2 \times [(2h+a)^3 - a^3]}{12}$$

- if n = 3

$$\bullet I_{tot} = \frac{l_2 \times [(2h+h_m+2a)^3 - (h_m+2a)^3 + h_m^3]}{12}$$

- if n = 4

$$\bullet I_{tot} = \frac{l_2 \times [(2h+2h_m+3a)^3 - (3a+2h_m)^3 + (2h_m+a)^3 - a^3]}{12}$$

- λ_{eff} selon l'Eurocode 5 (C.1.2) :

$$\lambda_{eff} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \times \frac{n}{2} \times \lambda_1^2}$$

Où :

- $\lambda = l_{eff} \times \sqrt{A_{tot}/I_{tot}}$: rapport d'élancement
- $\lambda_1 = \sqrt{12} \times \frac{l_1}{h}$: rapport d'élancement des membrures
- η : facteur type de connexion (fixation) = 1

η	Collé	Cloué	Boulonné
Chargement permanent/long-terme	1	4	3.5
Chargement moyen/court-terme	1	3	2.5

Remarque : Le facteur type de connexion est pris égal à 1 car la connexion ne permet pas de mouvements relatifs (connexions collées/vissées).

$$\begin{aligned} - \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \\ - \lambda_{rel,z} &= \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \\ - \lambda_y &= \lambda_{ef} \end{aligned}$$

Où :

- $\lambda_{rel,y}$ et λ_y sont les rapports d'élancement correspondant à une flexion selon l'axe y
- $\lambda_{rel,z}$ et λ_z sont les rapports d'élancement correspondant à une flexion selon l'axe z
- $E_{0,05}$ est la valeur caractéristique du module d'élasticité parallèle au fil

6.1.2 Vérification sous sollicitations combinées

En plus de la déformée dans la direction z, il convient de vérifier la combinaison de sollicitations suivante :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$A + B + C \leq 1$$

Où les trois termes de l'équation précédente sont :

- $A = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}}$ Correspond à la compression du poteau reconstitué (effort vertical avec ou sans excentricité sur le groupe de montants)
- $B = \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}$ Correspond à la flexion du poteau reconstitué (efforts hors-plan générant un moment : vent, efforts excentrés)
- $C = k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$ Correspond aux efforts de flexion dûs à l'effort tranchant (efforts dans le plan générant du cisaillement : efforts latéraux du vent, efforts dans le plan)

(le facteur k_m traduit de la possibilité de redistribuer les contraintes et du fait que les matériaux ne sont pas homogène dans une section. $k_m = 0,7$ pour les sections rectangulaires.

Terme A (Calcul selon l'Eurocode 5 – Annexe C et section 6) :

$$A = \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}}$$

Où :

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2})$$

$$k_y = 0.5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

Le Plan d'Assurance Qualité mis en place pour la production des panneaux de Mur LEKO LABS permet de prendre 0,1 pour valeur de β_c . En effet, l'imperfection des panneaux en sortie d'usine est contrôlée et ne dépasse pas l/500.

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{tot}}$$

Où :

- A_{tot} est l'aire de la section transversale totale (définie plus haut)
- $F_{c,d}$ est l'effort normal $F_{c,d} = F_{c,G,k} \times \gamma_G + F_{c,Q,k} \times \gamma_Q$

Terme B (calcul selon l'Eurocode 5 – Annexe B) :

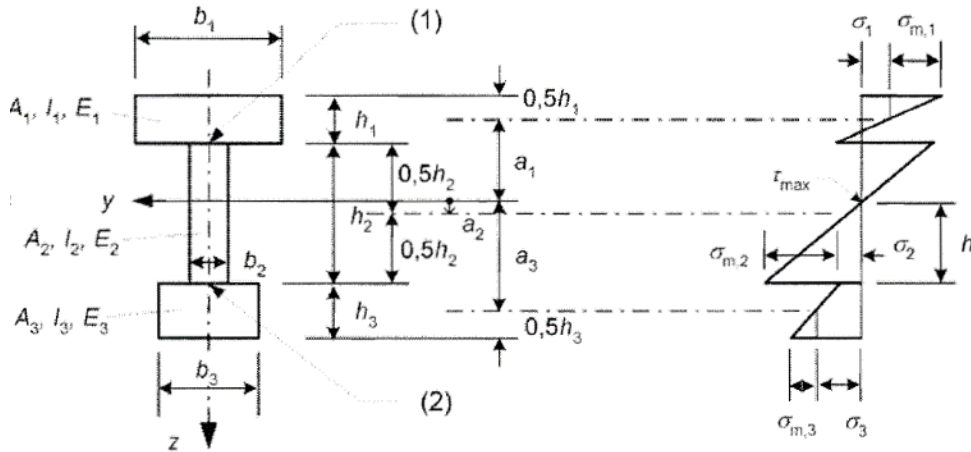


Figure 6. Illustration issue de l'Eurocode 5 - Annexe B

$$B = \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}$$

Où :

- $\sigma_{m,y,d}$ est la contrainte de flexion engendrée par un effort perpendiculaire au plan du mur

La rigidité en flexion est calculée de la manière suivante :

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{n_{ply}} (E_{i,mean} \times I_i + \gamma_i \times E_{i,mean} \times A_i \times a_i^2) = \sum_{i=1}^{n_{ply}} (EI)_{ef,i}$$

Lorsqu'il s'agit des traverses (i est pair), $A_i = 0$ et donc $I_i = 0$. En d'autres termes, seules les couches de montants sont prises en compte :

$$I_i = \frac{l_2 \times h_i^3}{12} \quad ; \quad A_i = h_i \times l_2$$

Lorsqu'il s'agit des traverses (i est pair), $\gamma_i = 0$. Sinon, lorsque $i = \frac{(n_{ply}+1)}{2}$, $\gamma_i = 1$. S'agissant des autres couches, $\gamma_i = (1 + \frac{\pi^2 \times E_i \times A_i \times s_i}{K_{i,k} \times l^2})^{-1}$.

- E_i est le module d'Young du pli i.
- I_i est l'inertie du pli i (défini plus haut)
- γ_i valeur de γ du pli i.
- a_i est la distance du centre du pli au centre la section
- K_i est le module de glissement des joints entre plis
- s_i est l'espacement des organes ($=l_1$)

La flexion de la lattice engendre une sollicitation en cisaillement des traverses. La déformation de cisaillement d'une section rectangulaire est :

$$\Delta_x = \frac{F \times l}{G \times A}$$

Où :

- A est la section dans le plan de cisaillement
- l est l'épaisseur de la traverse
- F est la force de cisaillement
- G est le module de cisaillement

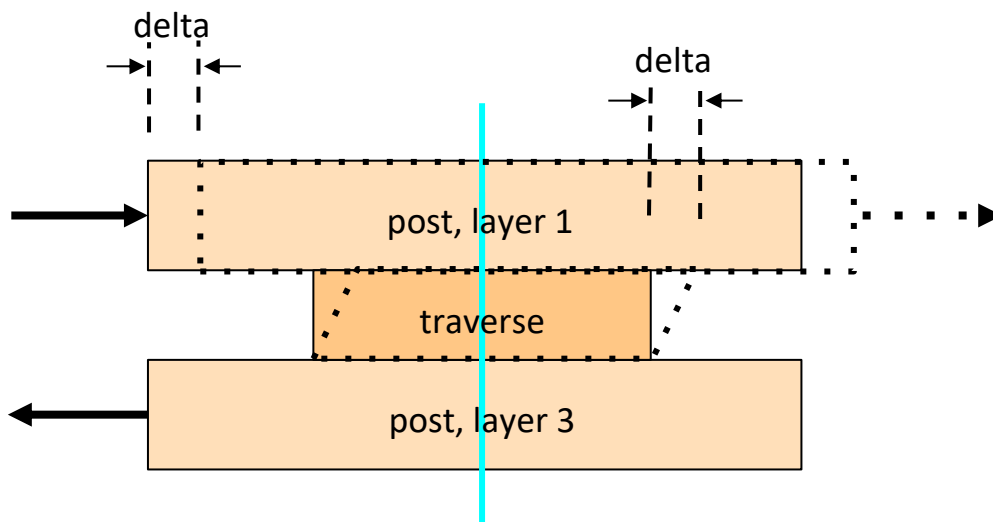


Figure 7. Cisaillement de traverse

De manière conservatrice, la contribution des vis dans la capacité de la traverse à reprendre cet effort tranchant est ignorée. De plus, la déformation de la colle peut être considérée nulle (différence de rigidité très importante entre la colle et le bois quelle que soit la direction considérée).

Dans le cas d'une traverse de 30 mm, le module de glissement dû au cisaillement roulant est :

$$\frac{F_{roll}}{\Delta_{x,roll}} = \frac{G_{roll} \times l_2^2}{a} = \frac{126 \times 120^2}{30} = K_{i,roll} = 60.48 \text{ kN/mm}$$

Concernant la colle, en considérant l'épaisseur maximale du joint de colle autorisée (3 mm) et en prenant $G_{glue} = 1000 \text{ N/mm}^2$ (valeur largement sous-estimé), le module de cisaillement du joint de colle est :

$$\frac{F_{glue}}{\Delta_{x,glue}} = \frac{G_{glue} \times l_2^2}{a} = \frac{1000 \times 120^2}{0.3} = K_{i,glue} = 48\,000 \text{ kN/mm}$$

Le module de glissement de la connexion est donc largement gouverné par la capacité en cisaillement roulant de la traverse :

$$\frac{1}{K_{i,k}} = \frac{1}{K_{i,glue}} + \frac{1}{K_{i,roll}} = \frac{1}{60.48} + \frac{1}{48\,000} \Rightarrow K_{i,k} = 60.33 \text{ kN/mm}$$

L'influence de la colle sur la déformation en cisaillement de la connexion est donc négligeable.

Le calcul des contraintes normales s'effectue alors de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{i,d} &= \frac{\gamma_i \times E_i \times a_i \times M_{y,d}}{(EI)_{ef}} \\
 - \sigma_{m,i,d} &= \frac{0.5 \times E_i \times h_i \times M_{y,d}}{(EI)_{ef}}
 \end{aligned}$$

Avec : $M_{y,d} = \frac{w_d \times l^2}{8} + F_{c,0,d,ecc} \times e_{ecc}$

Où :

- $M_{y,d}$ est le moment généré par la pression du vent perpendiculaire au mur ainsi que par les efforts axiaux excentrés

w_d est la pression du vent distribué sur le mur. $w_d = w_k \times \gamma_{Q,i}$

- $\gamma_{Q,i}$ est un coefficient de sécurité
- $F_{c,0,d,ecc}$ est l'effort axial excentré
- e_{ecc} est l'excentricité

La contrainte de flexion hors plan est donc :

$$\sigma_{m,y,d} = \max(|\sigma_{i,d}|) + \max(|\sigma_{m,i,d}|)$$

Terme C :

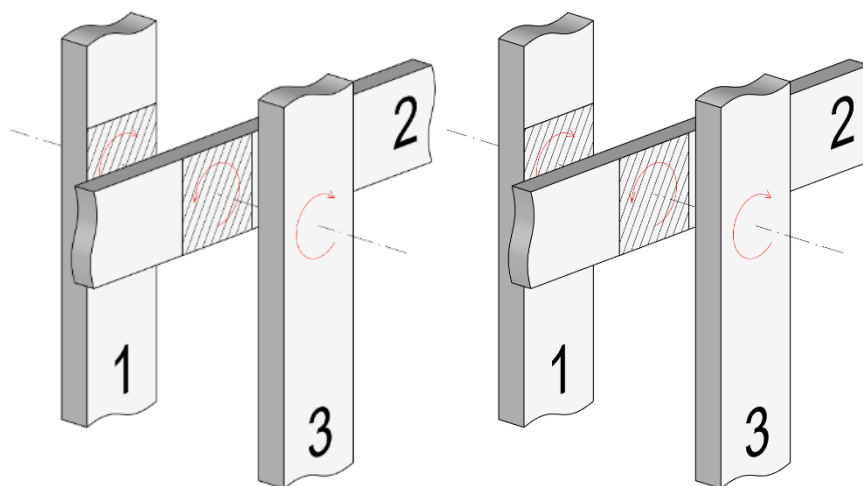


Figure 8. Rotation dans la connexion due aux efforts dans le plan

$$C = k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

Où :

- $\sigma_{m,z,d}$ est la contrainte de flexion due aux efforts dans le plan.
- k_m est un facteur défini plus haut

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{I_z} \times \frac{h}{2} \text{ avec } I_z = \frac{b \times h^3}{12}$$

- $M_{z,d}$ est le moment dans le groupe de montants considéré
- I_z est l'inertie du groupe de montant (b est la somme des épaisseurs des lamelles du groupe de montants et h est la largeur des lamelles).

6.1.3 Vérification des connexions

Il convient de vérifier l'état limite ultime des connexions par l'équation suivante :

$$\frac{\tau_{xz,d}}{f_{v,d}} + \frac{\tau_{xy,d}}{f_{v,d}} + \frac{M_{joint,d}}{M_{joint,M,z,d}} \leq 1$$

$$D + E + F \leq 1$$

Où les trois termes de l'équation précédente sont :

- Le terme D correspond à la sollicitation de la connexion due à la flexion hors-plan
 - Cisaillement de la connexion dû aux imperfections de la colonne recomposée
 - Cisaillement de la connexion dû à la flexion générée par les sollicitations de vent perpendiculaires au Mur LEKO LABS
- Le terme E correspond au cisaillement dans la connexion généré par le cisaillement dans les traverses (distribution du cisaillement d'un groupe de montants à un autre via les traverses par effet Vierendeel)
- Le terme F correspond au cisaillement dans la connexion dû à la rotation de la connexion (sollicitation dans le plan - contreventement)

Terme D :

Le terme D est composé de deux sollicitations. La première est calculée selon la section C.3.3 de l'Eurocode 5.

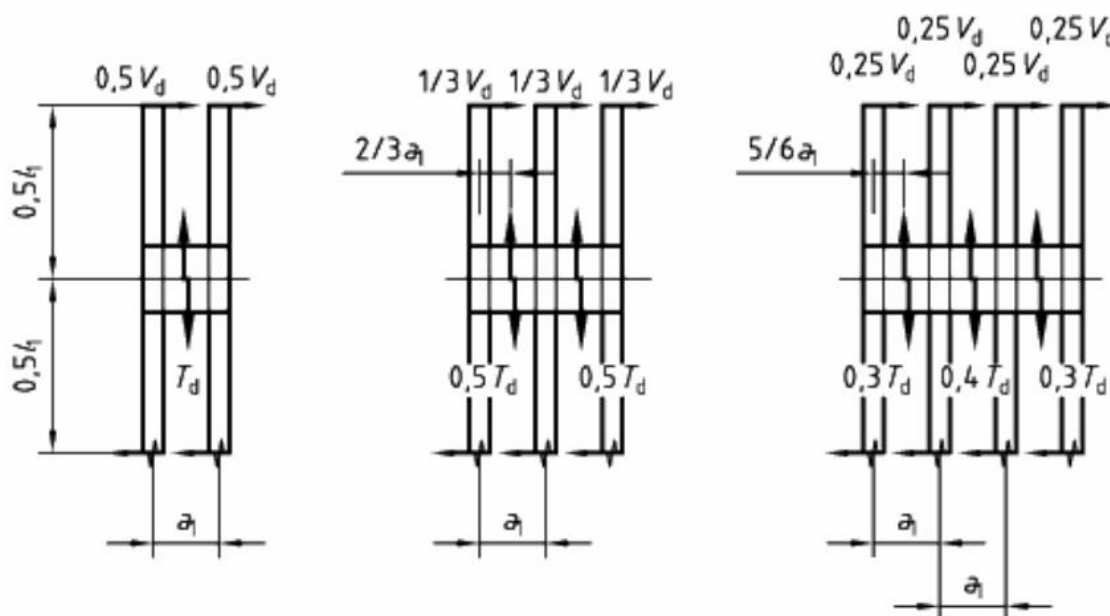


Figure 9. Sollicitation des goussets (image issue de l'Eurocode 5 partie C.3.3)

Les efforts tranchants dans les goussets sont calculés selon :

$$T_{c,d} = \frac{V_{c,d} \times l_1}{a_1}$$

Où :

- $V_{c,d}$ est l'effort appliqué sur les goussets (effort correspondant à V_d sur la figure ci-dessus)
- a_1 est la distance entre deux montants (comme indiqué sur la figure ci-dessus)
- l_1 est l'espacement entre deux goussets (comme indiqué sur la figure ci-dessus)

$V_{c,d}$ est calculé selon la section C.2.2 de l'Eurocode 5 :

$$V_{c,d} = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \times k_c} & \text{pour } \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \times \lambda_{ef}}{3600 \times k_c} & \text{pour } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \times k_c} & \text{pour } \lambda_{ef} \geq 60 \end{cases}$$

L'effort appliqué sur chaque gousset est fonction du nombre de montants (éléments verticaux) composant le poteau recomposé (comme illustré sur la figure ci-dessus). Ainsi, pour un Mur LEKO LABS 3 plis (2 couches de montants et une couche de traverses) :

$$T_{c,d,pack} = T_{c,d}$$

Pour un Mur LEKO LABS 5 plis (3 couches de montants et 2 couches de traverses) :

$$T_{c,d,pack} = 0.5 \times T_{c,d}$$

Avec $T_{c,d,pack}$ l'effort tranchant appliqué sur un gousset. Un gousset correspond à une connexion montants-traverse.

La deuxième sollicitation qui compose le terme D correspond à l'effort tranchant additionnel dans la connexion, dû à la flexion hors-plan (effort de vent, effort excentré). Il convient de calculer le flux de cisaillement dans les connexions généré par les efforts hors-plan :

$$q = \frac{V \cdot Q}{I_z} = \tau_{xz} \times t$$

Où :

- q est le flux de cisaillement (effort par unité de longueur)
- τ_{xz} est la contrainte de cisaillement dans la connexion
- t est la largeur de la section cisailée
- V est l'effort tranchant généré par la flexion hors-plan
- Q est le premier moment d'aire

Le terme D est donc :

$$D = \frac{T_{tot}}{f_{connexion} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}}$$

Où $f_{connexion}$ est la capacité de la connexion en cisaillement (contrainte maximale en MPa) caractérisée par essai (essai de cisaillement *push-out* par exemple) et contrôlée dans le cadre des essais de contrôle. A défaut d'être caractérisée par essai, la valeur de la capacité en cisaillement roulant issue de la norme du CLT (NF EN 16351) sera considérée. T_{tot} est la somme des contraintes de cisaillement dues aux imperfections et aux efforts de flexion hors-plan.

Terme E :

La distribution des efforts d'un groupe de montant à un autre dans un Mur LEKO LABS par les traverses génère de l'effort tranchant dans les connexions. La contrainte de cisaillement ne doit pas dépasser la capacité de la connexion. Le terme E est donc :

$$E = \frac{T_{traverse}}{f_{connexion} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}}$$

Où $T_{traverse}$ correspond donc à la contrainte de cisaillement due au cisaillement de la traverse constituant la connexion.

Terme F :

Un effort dans le plan (effort de vent par exemple) génère un moment de rotation dans les connexions du Mur LEKO LABS (flexion dans le plan du panneau ou mise en parallélogramme). Il convient de vérifier que la capacité en rotation de la connexion n'est pas dépassée :

$$F = \frac{M_{joint,d}}{M_{joint,M,z,d} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}}$$

Où $M_{joint,d}$ est le moment de torsion appliqué dans la rotation et $M_{joint,M,z,d}$ est la capacité en rotation de la connexion (déterminé par essai).

La vérification complète des connexions dans un Mur LEKO LABS est donc :

$$\frac{T_{tot}}{f_{connexion} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}} + \frac{T_{traverse}}{f_{connexion} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}} + \frac{M_{joint,d}}{M_{joint,M,z,d} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}} \leq 1$$

6.1.4 Vérification au contreventement

La vérification des panneaux de Mur LEKO LABS au contreventement est réalisée en tenant compte des points suivants :

- Modèle de calcul validé par des essais de contreventement menés conformément à la norme NF EN 594 « Structures en bois - Méthodes d'essai - Essai de raideur et résistance au contreventement des murs à ossature en bois »
- Seuls les murs LEKO LABS dont les dimensions respectent le critère $l > h/4$ (avec l et h respectivement largeur et hauteur du mur) peuvent être utilisés pour le contreventement.
- Les murs LEKO LABS devront plus présenter une largeur supérieure ou égale à 0,6 mètre pour assurer un rôle de contreventement.
- Le déplacement horizontal maximal dans le plan ne doit pas dépasser 1/500^{ème} de la hauteur.

La vérification du mur en contreventement est comprise dans la vérification des connexions dans la section précédente à travers le terme F, $\frac{M_{joint,d}}{M_{joint,M,z,d} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M}}$.

A cela, il convient de s'assurer que les traverses ne cèdent pas en cisaillement. Pour cela, il convient de vérifier que :

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Où :

- τ_d est la contrainte de cisaillement dans les traverses
- $f_{v,d}$ est résistance au cisaillement dans les traverses

Enfin, il faut s'assurer que le soulèvement du panneau (repris par les ancrages) n'induit pas des efforts de traction/compression trop importants dans les groupes de montants aux extrémités du panneau :

$$\begin{cases} \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \\ \sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \end{cases}$$

Où :

- $\sigma_{c,0,d}$ est la valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle au fil
- $f_{c,0,d}$ est la valeur de calcul de la résistance de compression parallèle au fil
- $\sigma_{t,0,d}$ est la valeur de calcul de la contrainte de traction parallèle au fil
- $f_{t,0,d}$ est la valeur de calcul de la résistance de traction parallèle au fil

6.1.4.1 Vérification des ancrages

L'ancrage des panneaux de Mur LEKO LABS permettant de reprendre les efforts de basculement et de cisaillement induits par les sollicitations dans le plan et hors plan est réalisé conformément aux NF DTU 31.2 et 31.4.

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 ses amendements A1 et A2.

Pour la résistance au soulèvement, les fixations devront être justifiées de la manière suivante :

$$F_{t,Ed} - F_{c,Ed,Stab} \leq F_{t,Rd,Ancrage}$$

Où :

- $F_{t,Ed}$ est l'effort de traction (arrachement de l'ancrage) dû au vent
- $F_{c,Ed,Stab}$ est l'effort de compression dû aux charges stabilisatrices (effort axiaux descendants)

La fixation de l'équerre est à justifier avec l'Eurocode 5 (résistance au cisaillement pour déterminer le type, le nombre et l'espacement des fixations).

En ce qui concerne la reprise des efforts horizontaux, un ancrage en pied de Mur LEKO LABS pourra être spécifié, comme pour tout type de mur ossature bois ou bois massif. L'ancrage doit vérifier :

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd,Ancrage,tot}$$

Où :

- $F_{v,Ed}$ est l'effort de contreventement agissant en tête de mur à reprendre en pied
- $F_{v,Rd,Ancrage,tot}$ est la résistance totale en cisaillement des ancrages (somme des résistances de chaque ancrage)

7 Dimensionnement en zone sismique

Les murs LEKO appartiennent à la Classe de Ductilité limitée conformément aux critères du chapitre 8 de NF EN 1998-1. Pour les calculs en situation accidentelle de séisme, le coefficient de comportement q ne pourra être pris supérieur à 1,5.

Pour les structures de classe de ductilité limitée le coefficient partiel sur les matériaux des combinaisons fondamentales γ_M devra être considéré (égale à 1,3) conformément au paragraphe §8.6 (2) de NF EN 1998-1.

8 Mise en œuvre

La mise en œuvre des panneaux de Mur LEKO LABS est réalisée par l'entreprise LEKO LABS ou par des équipes formées. La mise en œuvre des panneaux de Mur Leko LABS est très proche de la mise en œuvre des panneaux type CLT.

8.1 Transport

Les panneaux de Mur LEKO LABS ne doivent pas être détériorés lors de leur acheminement sur le chantier. Les murs sont transportés sur chant, ce qui permet de garantir de la stabilité du chargement mais surtout de faciliter son déchargement.

Des crochets de levage sont installés en usine, lors de l'assemblage, permettant la manipulation du panneau à l'aide du pont roulant. Ces crochets sont conservés et utilisés pour la manutention du panneau sur site (déchargement et mis en position). L'équilibrage du panneau pour la phase de manutention est donc contrôlé en usine pour minimiser les risques sur site.

Les panneaux comportant de grandes ouvertures disposent de traverses temporaires pour assurer leur rigidité dans le plan pendant la phase de manutention. Ces traverses seront ôtées sur site et l'étanchéité du panneau sera contrôlée.

8.2 Stockage sur chantier

Les panneaux de Mur LEKO LABS sortent d'usine à un taux d'humidité de 12 % $\pm$ 2 % (température et humidité contrôlées en usine).

Une fois acheminé sur site, les panneaux sont installés un à un depuis la remorque du camion. Les panneaux ne sont donc pas en contact direct avec le sol.

Les risques d'endommagement des panneaux de Mur LEKO LABS sont limités étant donné qu'ils sont protégés par une membrane étanche (pare-pluie respirant). Cela permet d'éviter les reprises d'humidité.

8.3 Phase de mise en œuvre

Conformément aux Cahier des Prescriptions Techniques d'exécution « Panneaux structuraux massifs bois Partie 2 : Généralités, conception et dimensionnement », avant le levage des panneaux de Mur LEKO LABS, pour leur positionnement dans l'ouvrage, il convient :

- *Vérifier les tolérances d'exécution du support (tolérances fixées pour les ouvrages en maçonnerie, par la norme NF DTU 20.1 et pour les ouvrages en béton, par la norme NF DTU 23.1). L'entreprise responsable de l'installation doit, en outre, respecter les tolérances définies dans le DTU 31.2 :*
 - *Longueur et largeur : $\pm 0,01$ m,*

- Équerrage : $\pm 0,01$ m mesuré sur 10 m,
- Arase : sur le muret périphérique, sur la dalle de fondation ou sur les piles, l'arase doit être nivelée avec une tolérance de $\pm 0,01$ m sur une longueur de 10 mètres linéaires alignés ou non et de ± 2 mm par mètre linéaire,
- Rectitude des bords en plan : ± 5 mm.
- Vérifier les éléments clés du protocole de montage, notamment la visibilité du poids des panneaux, les points de levage et la capacité des moyens de levage.
- S'assurer de la présence et de la bonne disposition des éléments participant à l'étanchéité à l'eau (provisoire et ou définitive) et à l'air entre le support et les panneaux (bande anti-capillarité, joints de calfeutrement, etc.).

Lors des phases provisoires, et tant que l'ensemble des éléments nécessaires au contreventement définitif de l'ouvrage ne sont pas mis en œuvre, la stabilité des panneaux, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étaieement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction.

8.4 Assemblage

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des murs entre eux ou des murs à d'autres éléments de structure doivent être choisis selon les prescriptions de la norme NF EN 14592 ou sous ETA.

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 ses amendements A1 et A2.

Les jonctions entre panneaux sont prévues dès la conception et réalisés en usine (connexion mâle-femelle entre deux panneaux, connexion mi-bois, encoche).

8.5 Intégration des menuiseries

Les menuiseries s'intègrent de la même manière que dans une ossature bois « classique ». C'est-à-dire en créant un chevêtre spécifique, soit en ajoutant une pièce de bois continu entre le Mur LEKO LABS et la menuiserie, soit en remplissant les couches de montants de sorte à recréer un cadre continu. L'intégration de la menuiserie et l'étanchéité est alors traitée de manière conforme au DTU 31.2. Un exemple de mise en œuvre de menuiserie est fourni dans le carnet de détails.

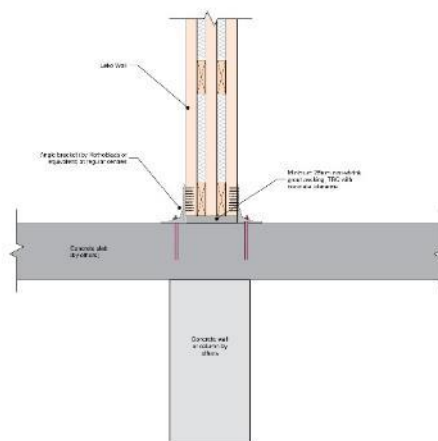
9 Assistance technique

La société LEKO LABS peut fournir une assistance technique pour la conception et la mise en œuvre des panneaux de Mur LEKO LABS. Le bureau d'étude interne de la société LEKO LABS peut remplir l'une ou l'ensemble des missions suivantes :

- Appui technique en phase projet (carnets de détails techniques)
- Contrôle et vérification de la solution technique retenue par l'équipe projet
- Etude de structure complète (modèle globale) ou dimensionnement seulement des Murs LEKO LABS (dans ce cas, le BE structure responsable sur le projet devra fournir les charges à reprendre en tête de chaque mur)
- Accompagnement technique sur les dispositions à mettre en œuvre pour atteindre les performances acoustique, thermique et feu visées
- Réalisation de plans d'exécution
- Réalisation de plans de fabrication et commande auprès de l'usine de LEKO LABS pour fabrication.

10 Données environnementales et sanitaires

Le panneau de Mur LEKO LABS a fait l'objet d'un EPD (Environmental Product Declaration) disponible en ligne à l'adresse suivante : <https://www.environdec.com/library/epd7307>. Cette déclaration porte sur le système de mur présenté dans ce document.



Detail F
Typical base detail at bottom of
Leko Wall to concrete support
Scale 1:5

Figure 13. Exemple de Fixation en pied pour bâtiment de hauteur > 4 étages

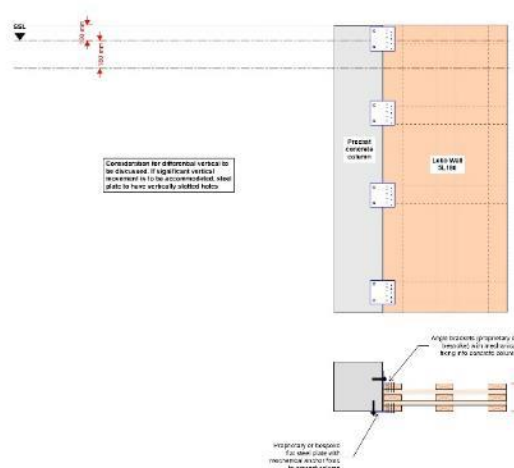


Figure 14. Exemple de Connexion entre un mur LEKO LABS et une colonne béton

11.2.1 Détails courants de connexions de Murs LEKO LABS

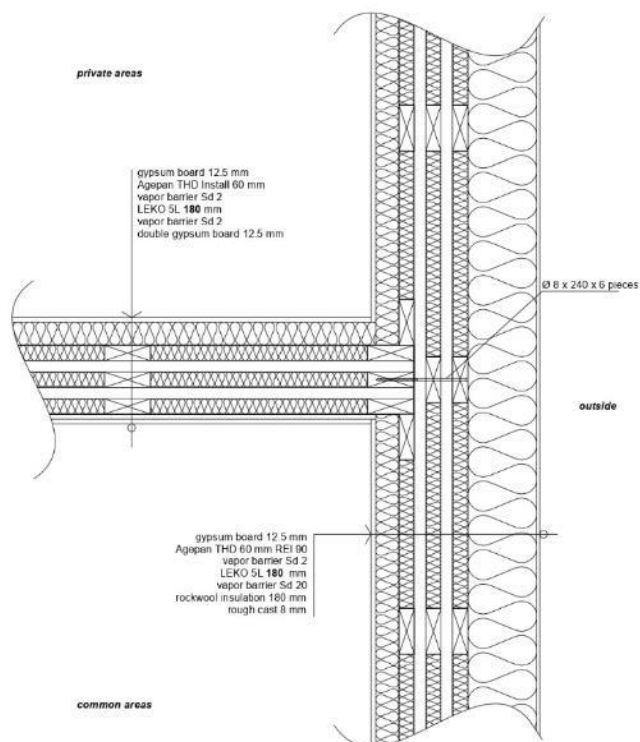


Figure 15. Connexion en "T" entre panneaux de murs porteurs 5L180

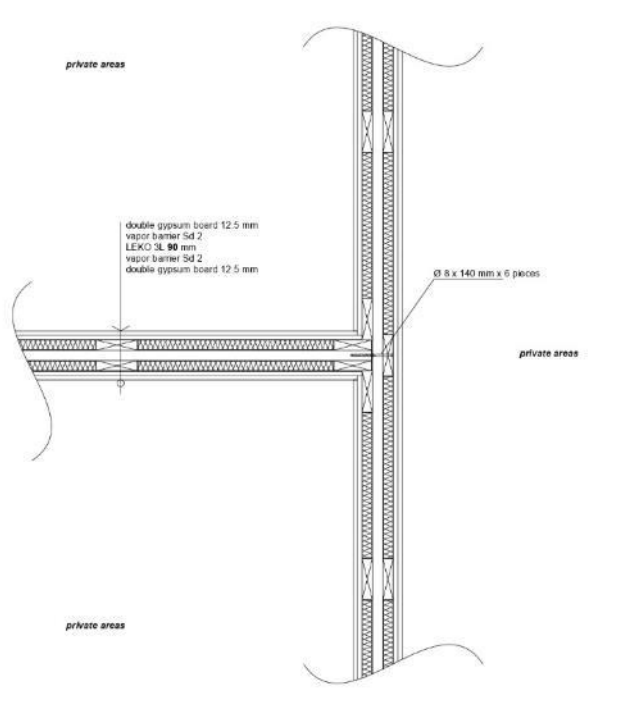


Figure 16. Connexion en "T" entre panneaux de cloisons 3L90

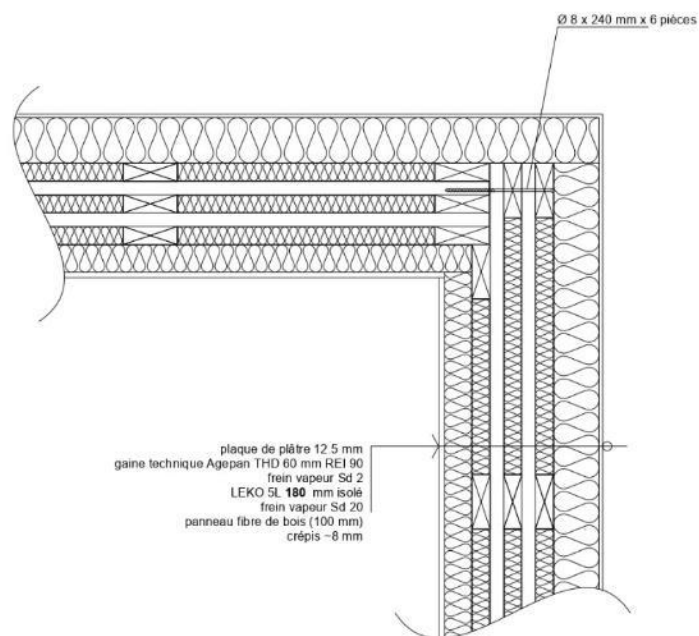


Figure 17. Connexion d'angle entre murs de façade

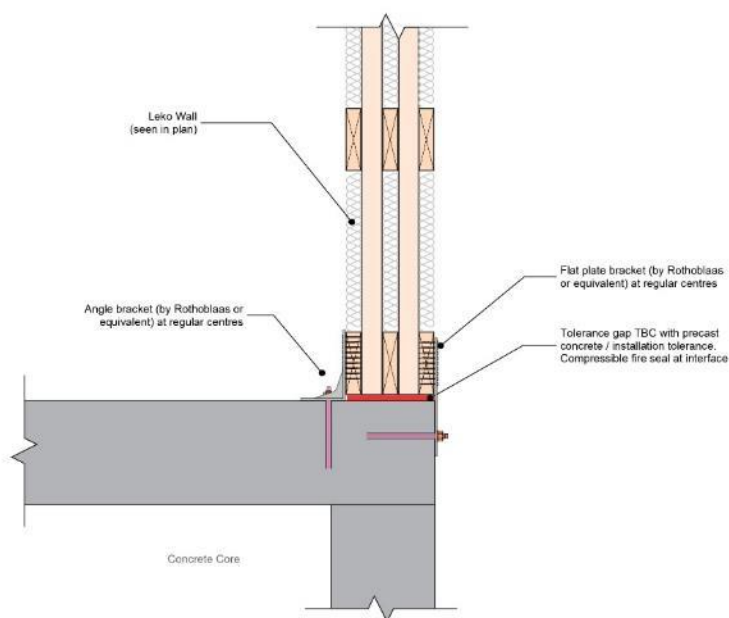


Figure 18. Exemple de Connexion entre mur LEKO LABS et noyau béton

11.3 Détails courants d'utilisation du Mur LEKO LABS en façade

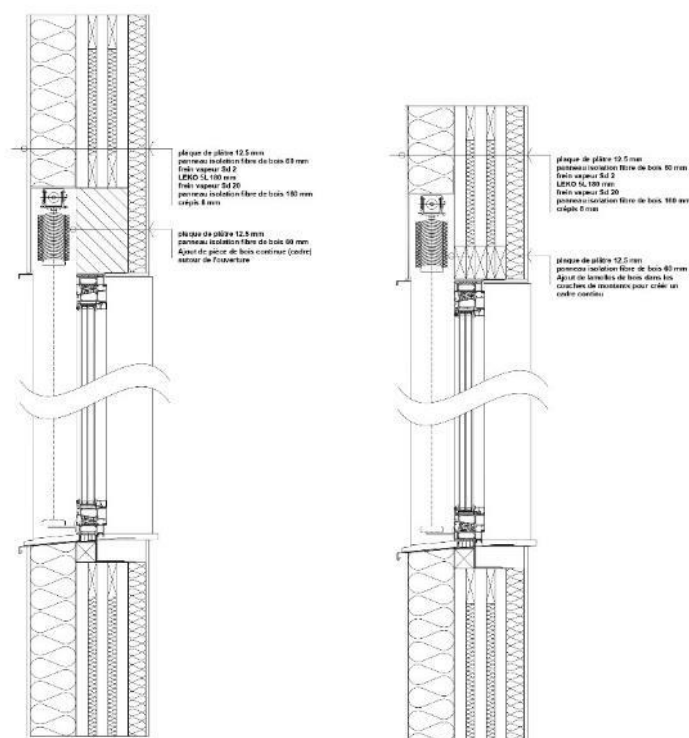


Figure 19. Exemple d'intégration de menuiserie dans un Mur LEKO LABS en façade (création d'un cadre dans le Mur LEKO LABS ou ajout d'un cadre entre la menuiserie et le Mur LEKO LABS)

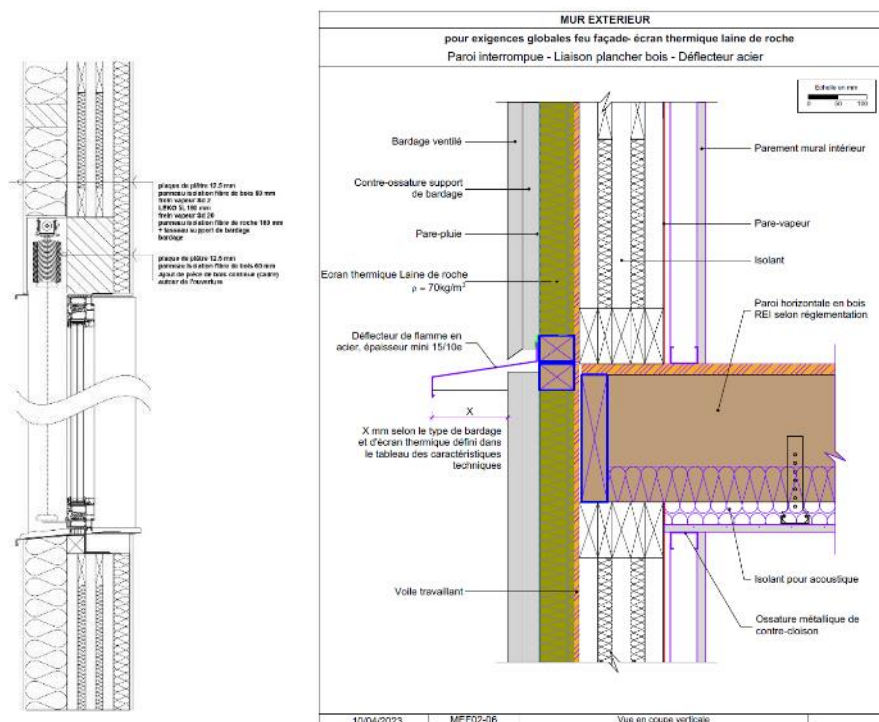


Figure 20. Exemple d'intégration de menuiserie dans un Mur LEKO LABS en façade

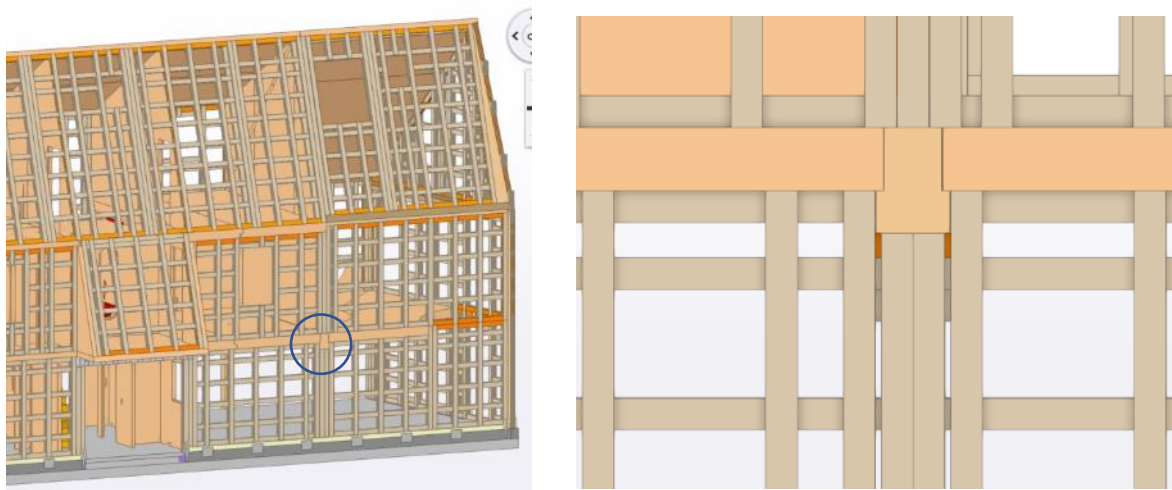


Figure 21. Reprise d'une charge ponctuelle (vue d'ensemble à gauche et zoom à droite). Visualisation des fourrures ajoutées pour reprise des efforts

11.4 Détails courants d'interface entre murs LEKO LABS et planchers bois

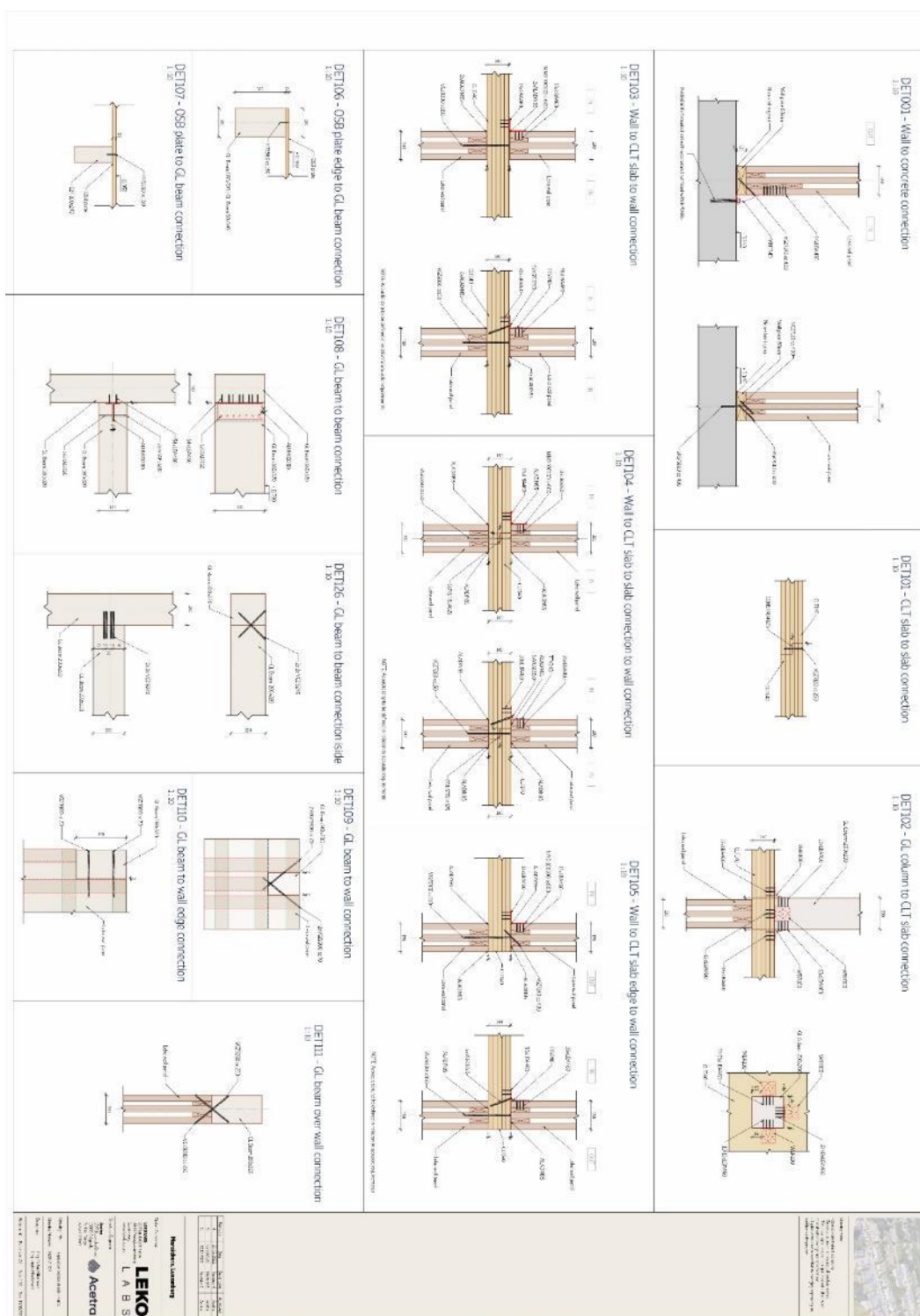


Figure 22. Exemples d'Interfaces LEKO LABS - Planchers CLT

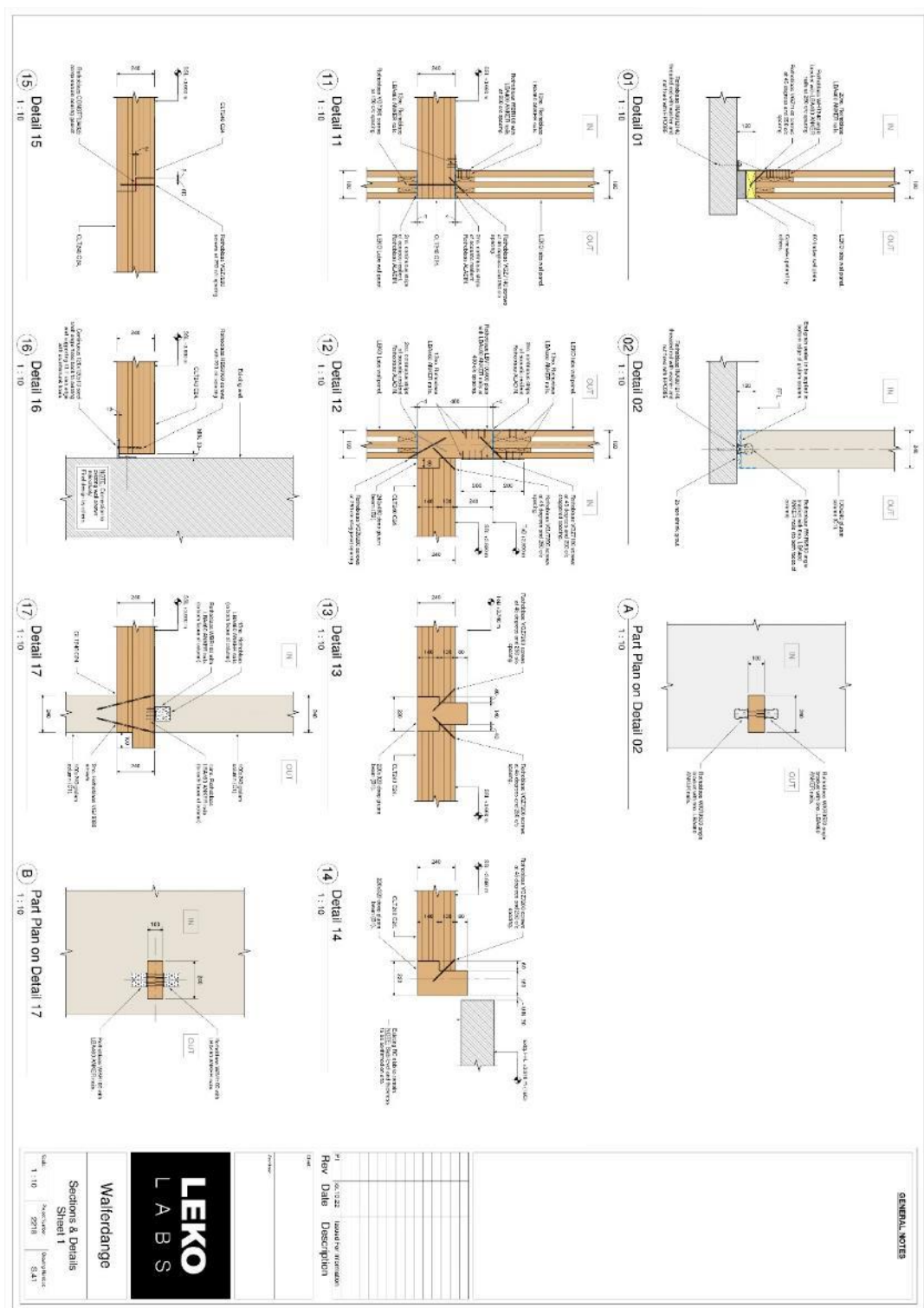


Figure 23. Exemples d'Interfaces LEKO LABS - Planchers CLT et poutres LC

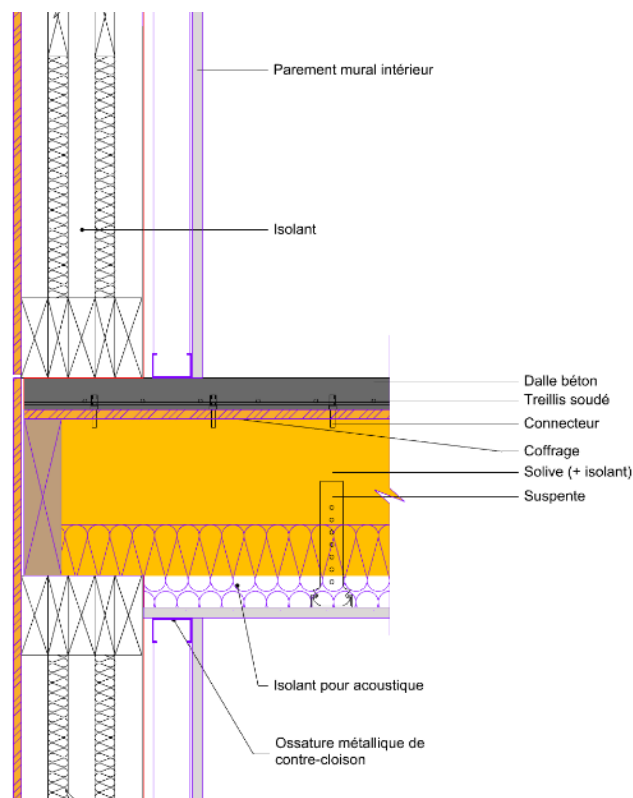


Figure 24. Exemple de Connexion entre mur LEKO LABS et plancher mixte bois béton (sous Avis Technique)

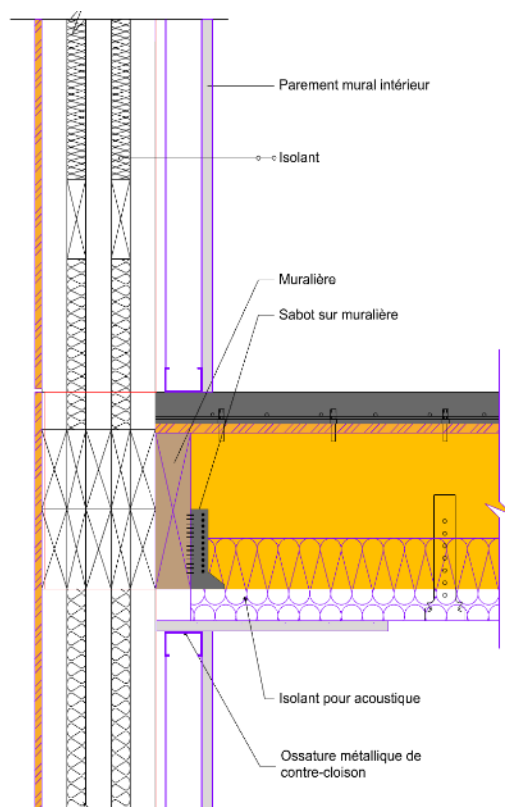


Figure 25. Exemple de Connexion entre mur LEKO LABS et plancher mixte bois béton (sous Avis Technique) avec muralière

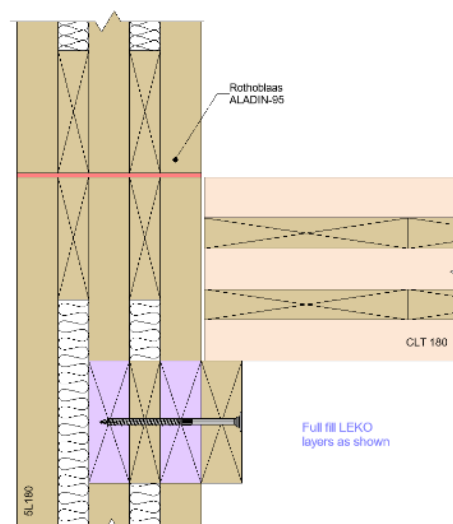


Figure 26. Exemple de connexion entre mur LEKO LABS et plancher CLT à l'aide d'une muralière (des fourrures sont ajoutées pour permettre le vissage et la reprise des efforts)

12 Références

12.1 Chantier Septfontaines



Figure 27. De gauche à droite : résidence (5 appartements), bloc B (2 maisons) et bloc A bloc B (2 maisons)



- Le type de chantier : résidentiel (voir légende image)
- Le lieu : 5, Mierscherstrooss, L-8396 Septfontaines → [lien géoportail.lu](https://www.geoportail.lu)
- La date de mise en œuvre : 2022

Projet		Surface mur 5L (m ²)	Surface mur 3L (m ²)	Surface mur totale
Septfontaines	Résidence	580,03	281,93	861,96
	Bloc A	775,18	284,56	1059,74
	Bloc B	1144,32	370,347	1514,667

12.2 Chantier Hobscheid



- Le type de chantier : résidentiel unifamilial
- Le lieu : 12, Cité um Béinertchen, L-8374 Hobscheid → [lien géoportail.lu](https://lien.géoportail.lu)
- La date de mise en œuvre : 2022

Projet	Surface 5L (m²)	Surface 3L (m²)	Surface totale
Hobscheid	390,37	85,28	475,65

13 Annexes

13.1 Extraits du des Murs LEKO LABS



Figure 28. Augmentation de la densité des Murs LEKO LABS en fonction des exigences structurales



Figure 29. Image réelle d'un exemple, de taille réduite, de composition de Mur LEKO LABS de façade

Single-family homes Load-bearing walls External walls

3L110

Option 1: 60mm high-density wood-fiber board ^[2] (HDWF)

Layers	3 layers		
Thickness	110 mm		
Compressive strength range	Up to 175 kN/m ^[3]		
12.5 mm layer plasterboard procures	REI60		
Racking stiffness	Up to 0.7 kN/mm/m ^[4]		
U-val ^[5]	0.12	0.14	0.17
Wood-fiber external insulation	200 mm	160 mm	100 mm
Standard total wall buildup ^[6]	370 mm	330 mm	270 mm

■ Shown in the detail on the right

[2] Used for cabling and services distribution

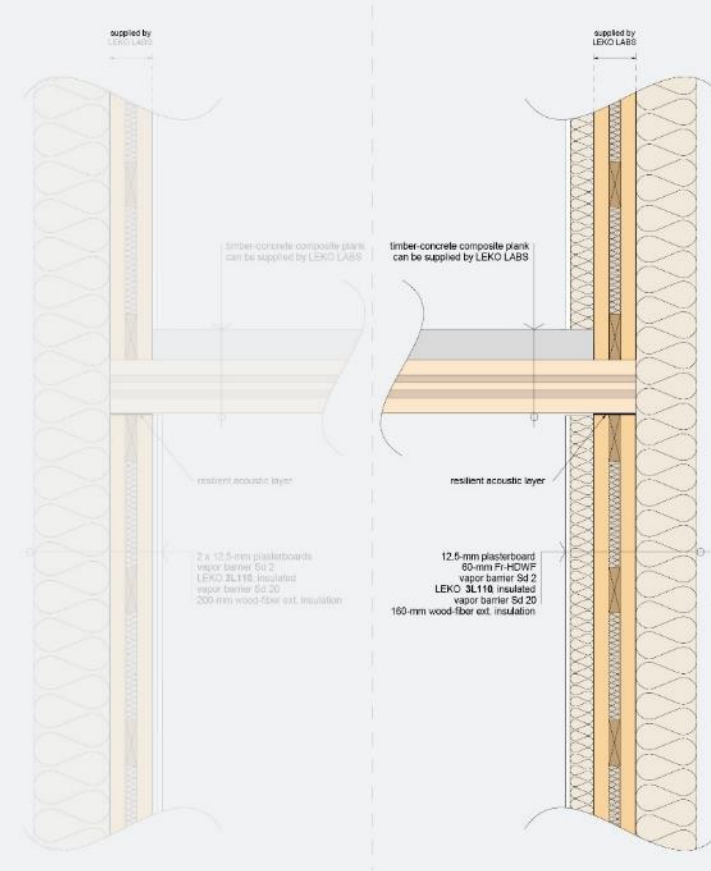
[3] U-values are all in W/m²K. Performance can be adjusted with insulation

[4] Thickness of the wall including interior finishing and external insulation. Excludes external cladding/external finishes

[5] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m

Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load



Vertical cut view
(not to scale)

Single-family homes Load-bearing walls External walls

3L110

Option 2: Without HDWF [2]

Layers	3 layers		
Thickness	110 mm		
Compressive strength range	Up to 175 kN/m ² [6]		
2x 12.5 mm layers plasterboard procures	REI60		
Racking stiffness	Up to 0.7 kN/mm/m ² [4]		
U-val [5]	0.12	0.14	0.17
Wood-fiber external insulation	240 mm	200 mm	80 mm
Standard total wall buildup [4]	350 mm	310 mm	190 mm

■ Shown in the detail on the right

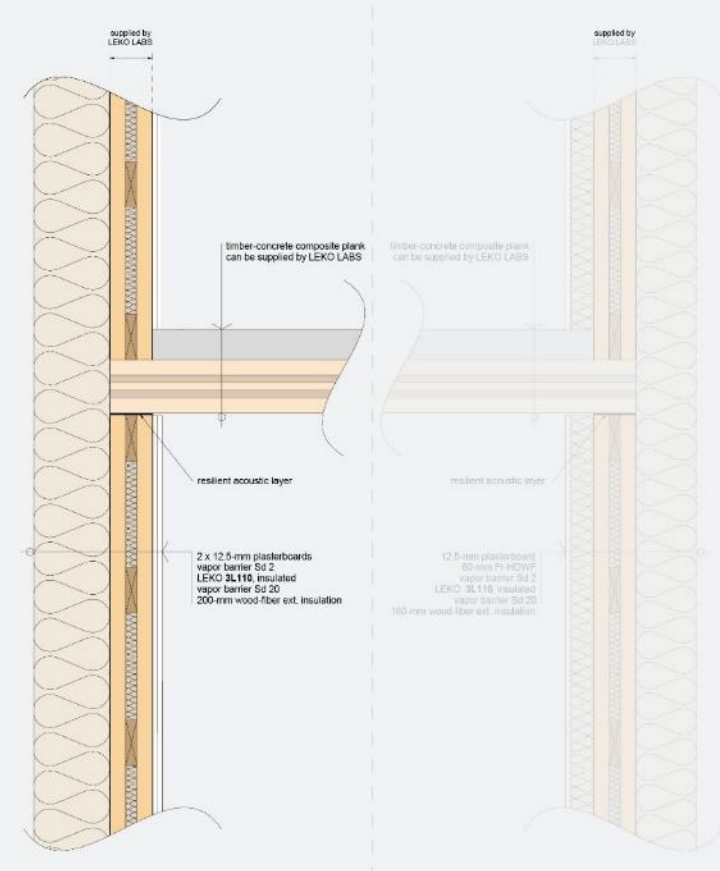
[2] Used for cabling and services distribution

[3] U-values are all in W/m²K. Performance can be adjusted with insulation

[4] Thickness of the wall including interior finishing and external insulation. Excludes external cladding/external finishes

[5] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load



Vertical cut view
(not to scale)

Single-family homes Load-bearing walls External walls

5L150

Option 1: With 60mm HDWF [2]

Layers	5 layers		
Thickness	150 mm		
Compressive strength range	Up to 239 kN/m ² [6]		
12.5 mm layer plasterboard procures	REI90		
Racking stiffness	Up to 1.35 kN/mm/m ² [4]		
U-val [5]	0.12	0.14	0.17
Wood-fiber external insulation	170 mm	120 mm	80 mm
Standard total wall buildup [4]	380 mm	330 mm	290 mm

■ Shown in the detail on the right

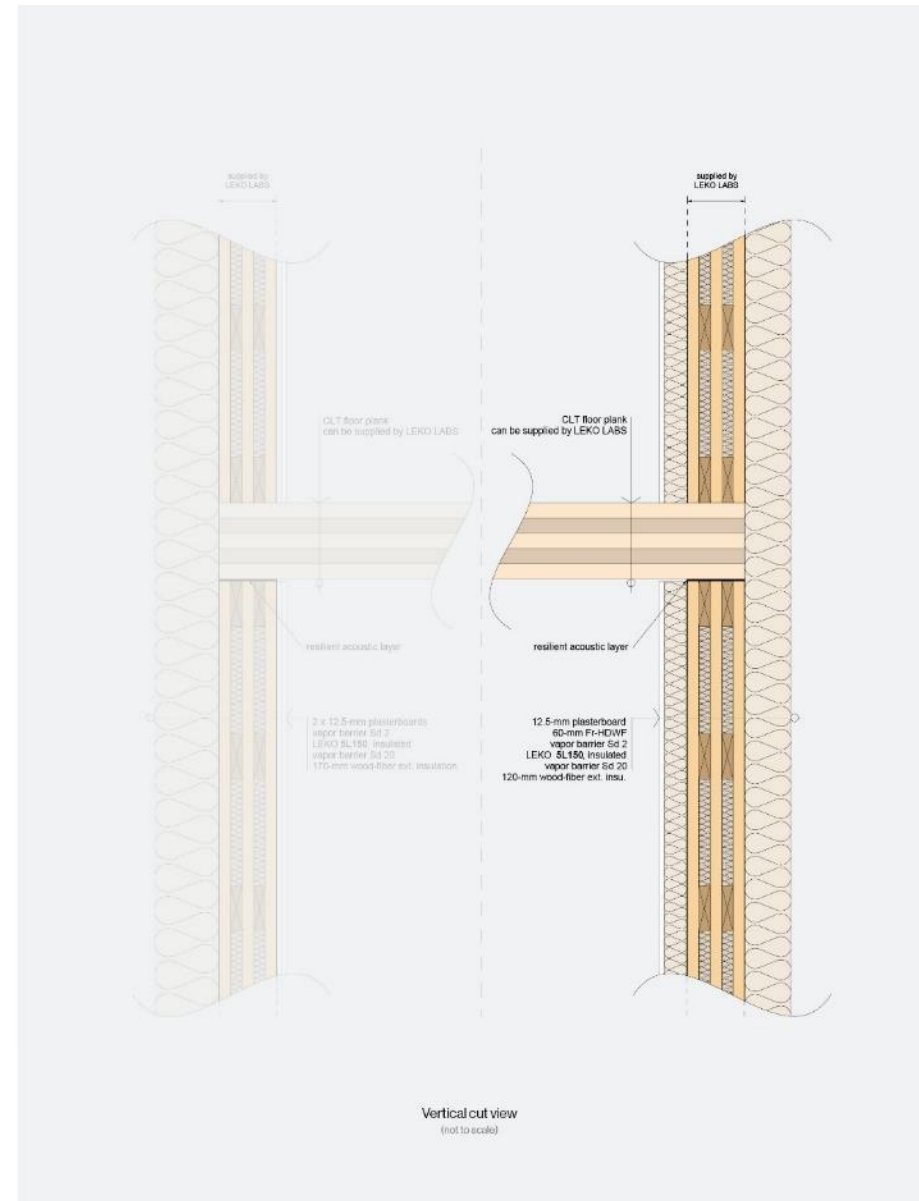
[2] Used for cabling and services distribution

[3] U-values are all in W/m²K. Performance can be adjusted with insulation

[4] Thickness of the wall including interior finishing and external insulation. Excludes external cladding/external finishes

[5] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load



Single-family homes Load-bearing walls External walls

5L150

Option 2: Without HDWF [2]

Layers	5 layers		
Thickness	150 mm		
Compressive strength range	Up to 239 kN/m ² [3]		
2 x 12.5 mm layers plasterboard procures	REI60		
Racking stiffness	Up to 1.35 kN/mm/m ² [4]		
U-val [5]	0.12	0.14	0.17
Wood-fiber external insulation	210 mm	170 mm	120 mm
Standard total wall buildup [6]	360 mm	320 mm	270 mm

■ Shown in the detail on the right

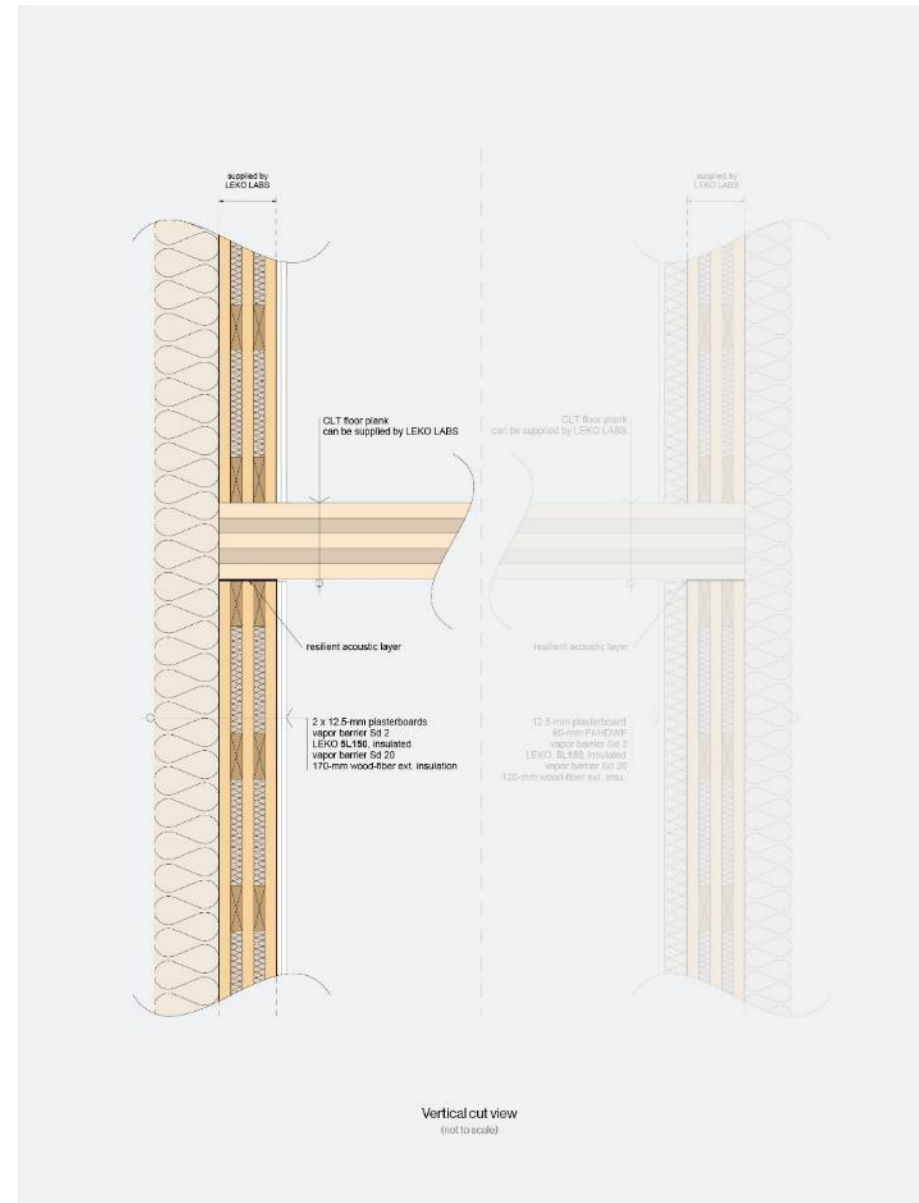
[2] Used for cabling and services distribution

[3] U-values are all in W/m²K. Performance can be adjusted with insulation

[4] Thickness of the wall including interior finishing and external insulation. Excludes external cladding/external finishes

[5] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load



Multi-story buildings Load-bearing walls External walls

5L180

Option 1: with 60 mm fire-retardant high-density wood-fiber board ^[6] (Fr-HDWF)

Layers	5 layers		
Thickness	180 mm		
Compressive strength range	Up to 909 kN/m ^[3]		
15 mm fire-rated plasterboard procures	REI 120		
Racking stiffness	Up to 1.35 kN/mm/m ^[4]		
U-val ^[5]	0.12	0.14	0.17
Wood-fiber external insulation	120 mm	80 mm	60 mm
Standard total wall buildup ^[6]	360 mm	320 mm	280 mm

■ Shown in the detail on the right

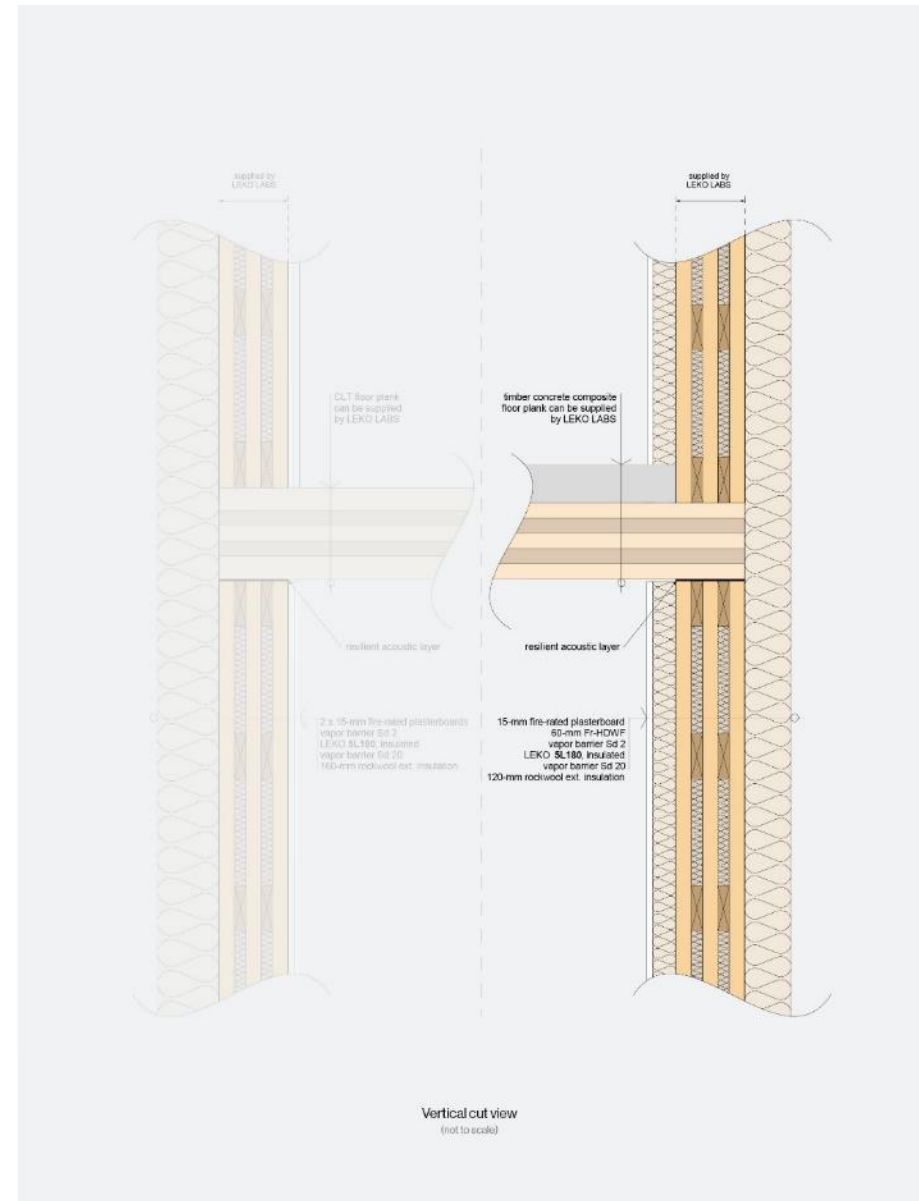
[2] Used for cabling and services distribution

[3] U-values are all in W/m²K. Performance can be adjusted with insulation

[4] Thickness of the wall including interior finishing and external insulation. Excludes external cladding/external finishes

[5] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load



Multi-story buildings Load-bearing walls External walls

5L180

Option 2: no Fr-HDWF [2]

Layers	5 layers		
Thickness	180 mm		
Compressive strength range	Up to 909 kN/m ² [3]		
2 x 15 mm fire-rated plasterboard procures	REI 120		
Racking stiffness	Up to 1,35 kN/mm/m ² [4]		
U-val [5]	0.12	0.14	0.17
Wood-fiber external insulation	160 mm	130 mm	80 mm
Standard total wall buildup [6]	340 mm	310 mm	260 mm

■ Shown in the detail on the right

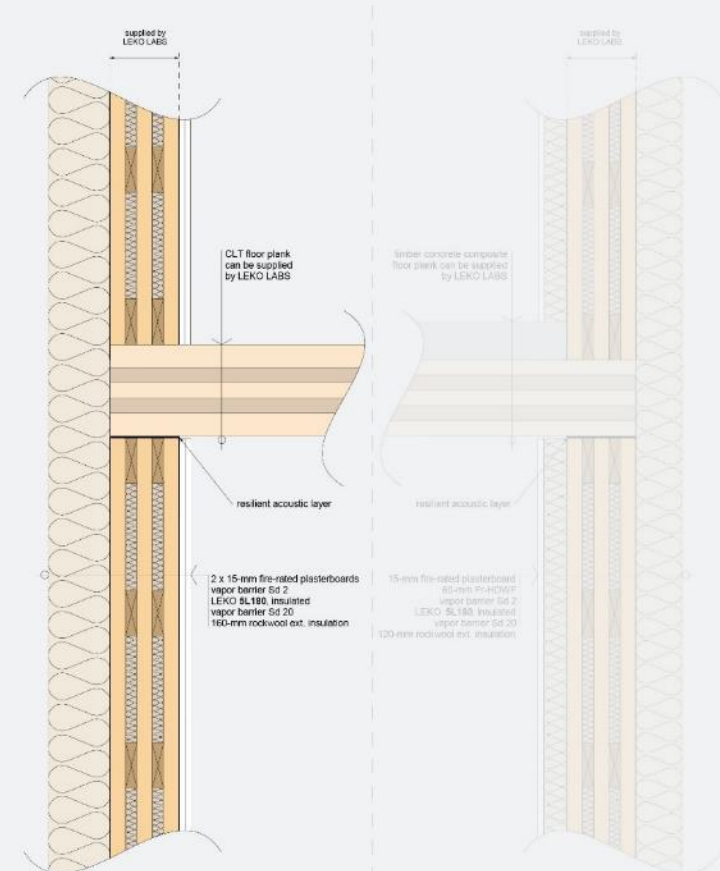
[2] Used for cabling and services distribution

[3] U-values are all in W/m²K. Performance can be adjusted with insulation

[4] Thickness of the wall including interior finishing and external insulation. Excludes external cladding/external finishes

[5] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load



Multi-story buildings

Partition walls

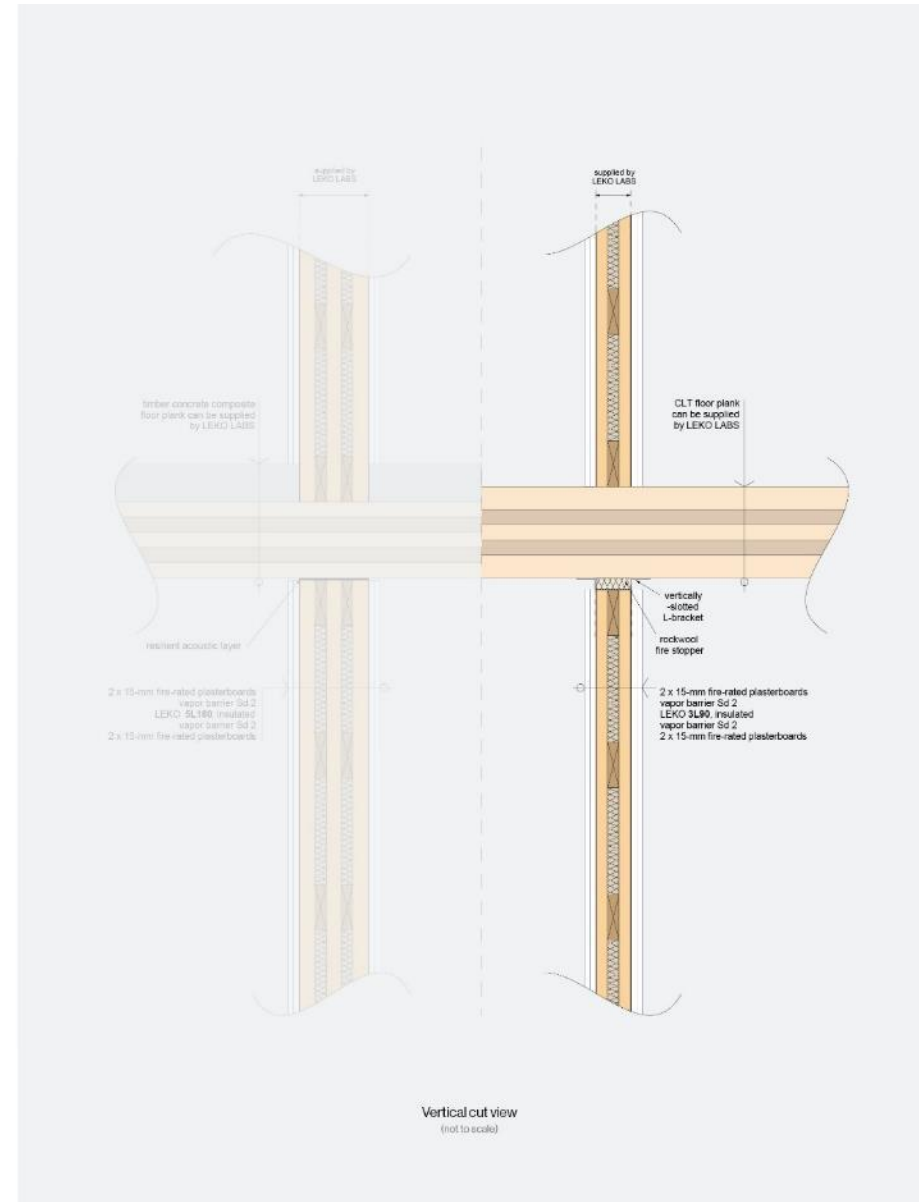
Internal walls

3L90

Layers	3 layers
Thickness	90 mm
Compressive strength range	27 kN/m ^[6]
2 x 15 mm fire-rated plasterboard procures	EI 60

[6] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values.

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load.



Single-family homes

Load-bearing walls

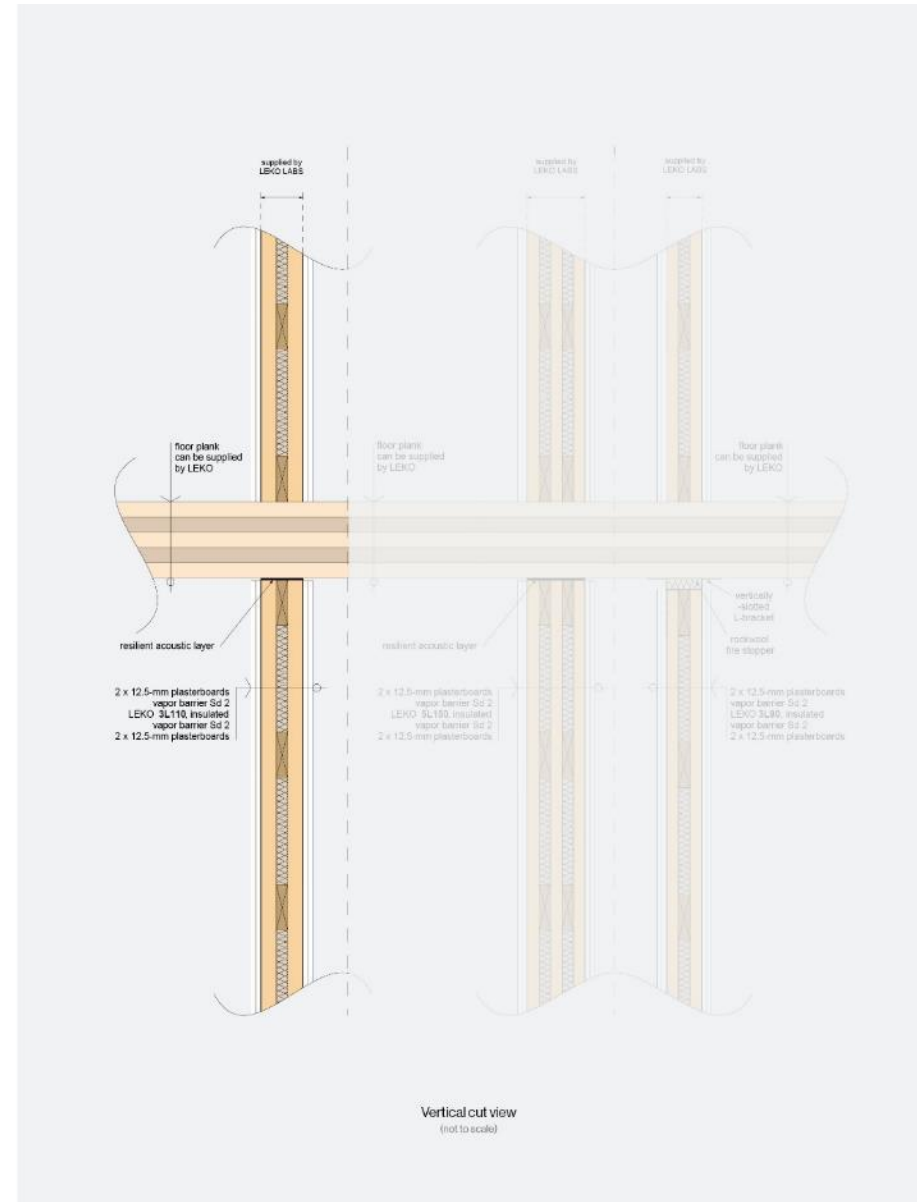
Internal walls

3L110

Layers	3 layers
Thickness	110 mm
Compressive strength range	Up to 175 kN/m ^{[6] [6]}
2 x 12.5 mm layers plasterboard procures	REI60
Racking stiffness	Up to 0.7 kN/mm/m ^[6]

[6] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values.

[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load.



Single-family homes

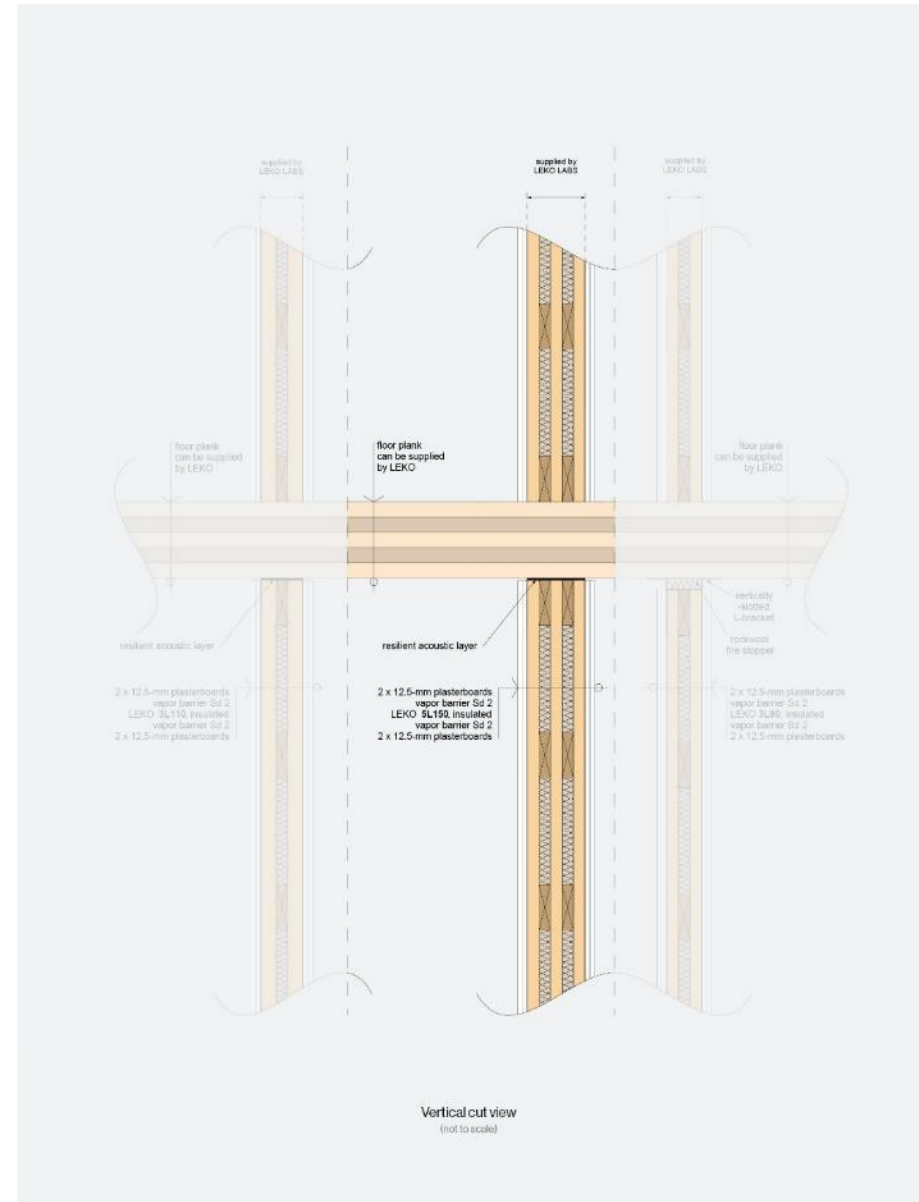
Load-bearing walls

Internal walls

5L150

Layers	5 layers
Thickness	150 mm
Compressive strength range	Up to 239 kN/m ² [6]
2 x 12.5 mm layers plasterboard procures	REI60
Racking stiffness	Up to 1.35 kN/mm/m ² [6]

[6] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values.
[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load.

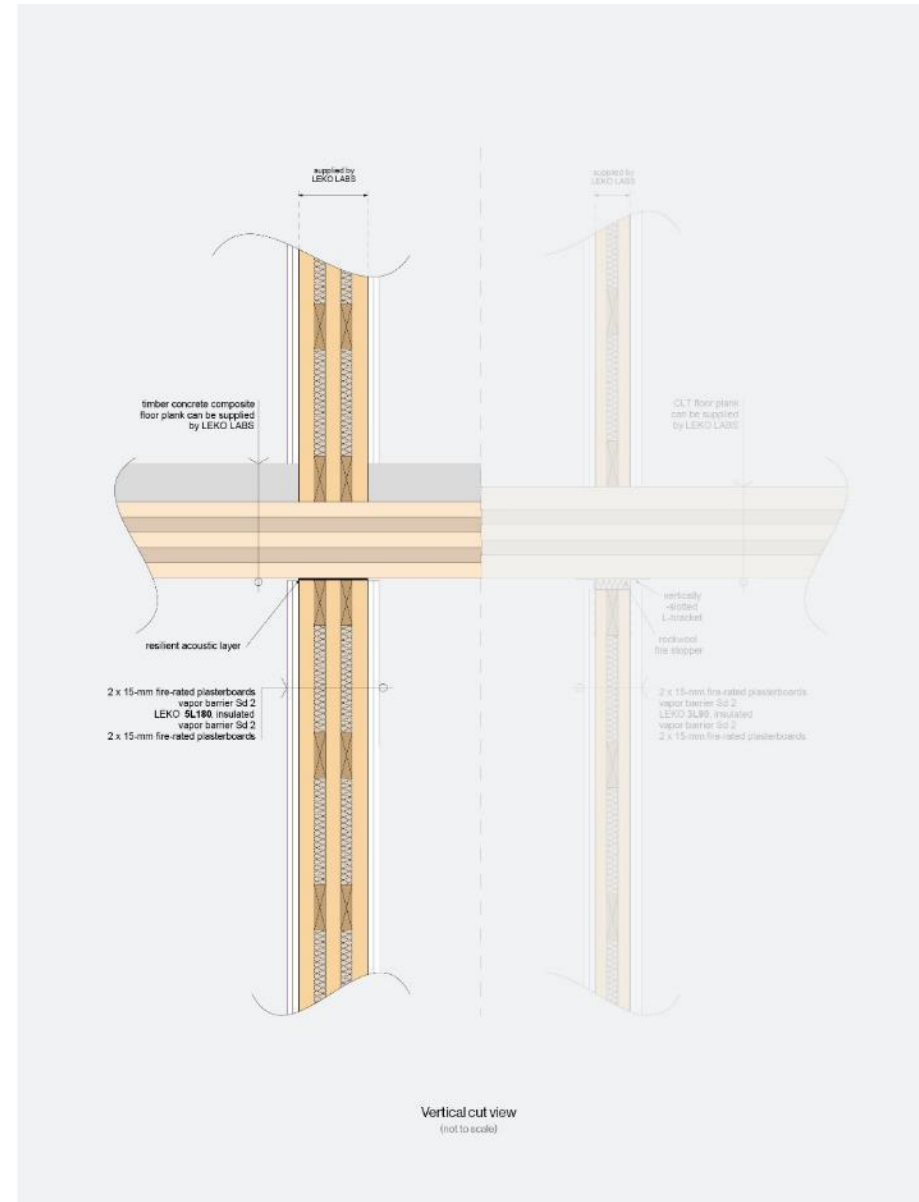


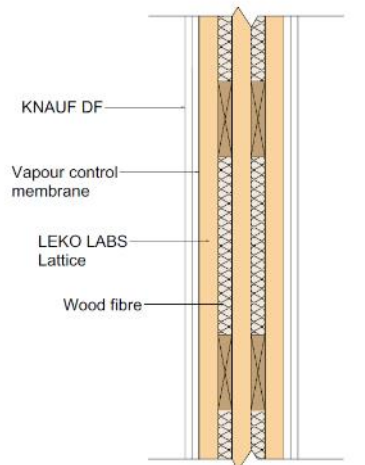
Multi-story buildings Load-bearing walls Internal walls

5L180

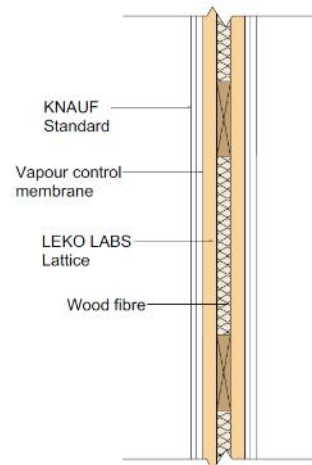
Layers	5 layers
Thickness	180 mm
Compressive strength range	Up to 909 kN/m ² [6]
2 x 15 mm fire-rated plasterboard procures	REI 120
Racking stiffness	Up to 1.35 kN/mm/m ² [6]

[6] All strength values provided are characteristic resistance per linear meter of wall, assuming a buckling length of 2.8 m. Values should be factored according to EN-1995-1-1 to obtain design values.
[6] Characteristic strength values provided assume no eccentricity of load.

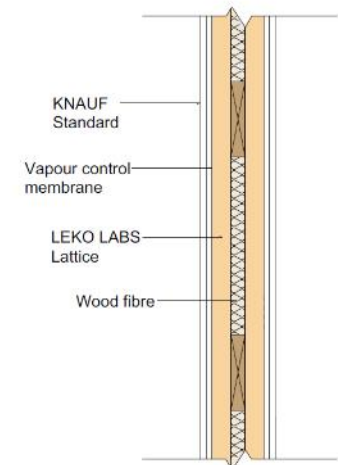




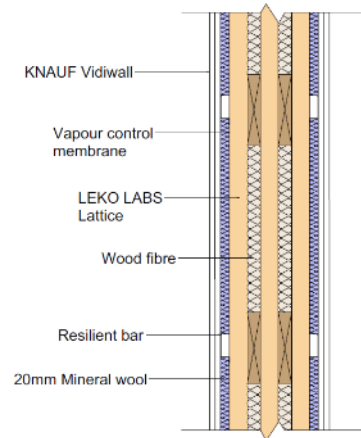
Configuration A1-5L180
Internal load-bearing wall
 $R_w(C;Ctr)_{100-3150} = 53 (-3; -10) \text{ dB}$



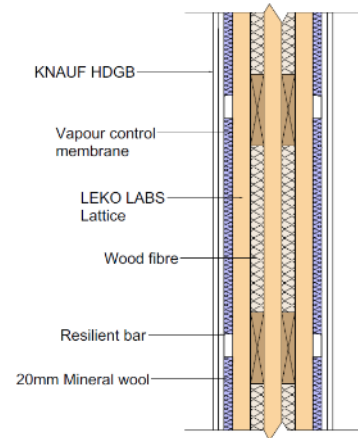
Configuration A5
Internal partition wall
 $R_w(C;Ctr)_{100-3150} = 46 (-1; -6) \text{ dB}$



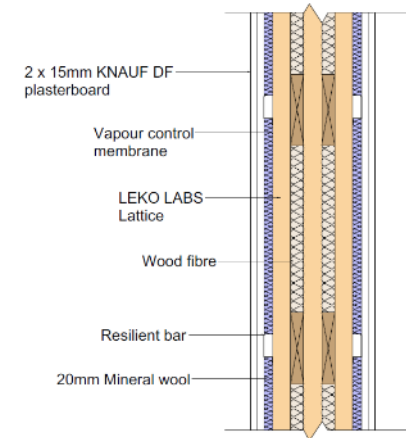
Configuration A6
Internal partition wall
 $R_w(C;Ctr)_{100-3150} = 47 (-3; -8) \text{ dB}$



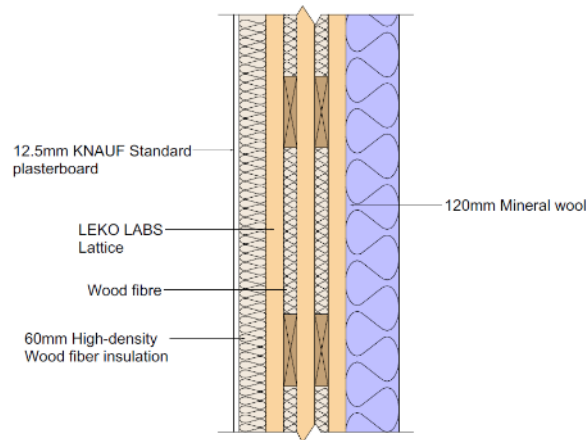
Configuration A2
Internal load-bearing wall
 $R_w(C; Ctr)_{100-3150} = 61 (-3; -8) \text{ dB}$



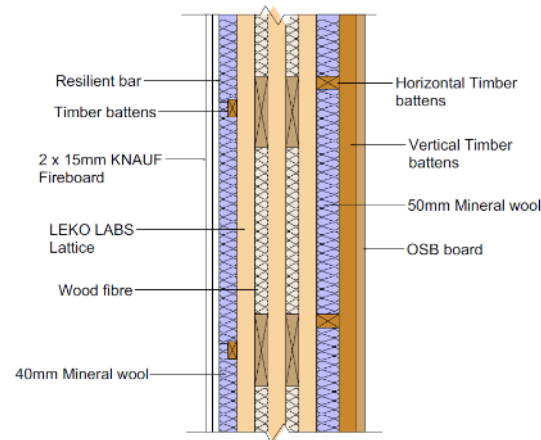
Configuration A3
Internal load-bearing wall
 $R_w(C; Ctr)_{100-3150} = 60 (-2; -7) \text{ dB}$



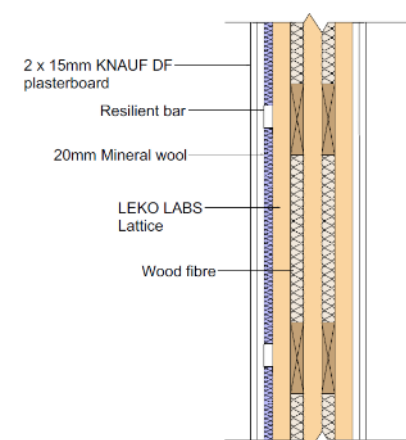
Configuration A4
Internal load-bearing wall
 $R_w(C; Ctr)_{100-3150} = 59 (-1; -6) \text{ dB}$



Configuration F1
Facade
 $R_w(C; Ctr)_{100-3150} = 43 (-4; -12) \text{ dB}$



Configuration F2
Facade
 $R_w(C; Ctr)_{100-3150} = 66 (-7; -15) \text{ dB}$



Configuration A7
Internal load-bearing wall
 $R_w(C; Ctr)_{100-3150} = 66 (-5; -12) \text{ dB}$

Codes de configuration	Les structures de lattice	Indice de la quantités de plaques	Les marques et les types de plaques (selon EN 520)	Les éléments d'isolant	Les éléments supplémentaires	Épaisseur totale [mm]	R_w ($C_{100-3150}$; $C_{n, 100-3150}$) [dB]
A1	5L180	2 ; 2	KNAUF® DF (GKF) 15 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro	240,0	53 (-3 ; -10)
		2 ; 1				225,0	51 (-4 ; -11)
		1 ; 1				210,0	50 (-5 ; -12)
		0 ; 0				180,0	33 (-2 ; -7)
A2	5L180	2 ; 2	KNAUF® Diamont (DFH2IR) 12,5 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm extérieur : KNAUF Acoustic floor slab 20 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro Les rails découplage : GYPROC® RB66	270,0	61 (-3 ; -8)
		2 ; 1				257,5	60 (-5 ; -12)
		1 ; 1				245,0	56 (-5 ; -12)
A3	5L180	2 ; 2	KNAUF® Vidiwall (GF-W2) 12,5 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm extérieur : KNAUF Acoustic floor slab 20 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro Les rails découplage : GYPROC® RB66	270,0	60 (-2 ; -7)
		2 ; 1				257,5	60 (-5 ; -10)
		1 ; 1				245,0	56 (-6 ; -12)
A4	5L180	2 ; 2	KNAUF® SDF (GKF) 15 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm extérieur : KNAUF Acoustic floor slab 20 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro Les rails découplage : GYPROC® RB66	280,0	59 (-1 ; -6)
		2 ; 1				265,0	56 (-2 ; -8)
		1 ; 1				250,0	53 (-3 ; -8)
A5	3L90	2 ; 2	KNAUF® Standard (A) 12,5 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 30 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro	140,0	46 (-1 ; -6)
		2 ; 1				127,5	44 (-2 ; -8)
		1 ; 1				115,0	43 (-3 ; -8)
		0 ; 0				90,0	34 (-2 ; -6)
A6	3L110	2 ; 2	KNAUF® Standard (A) 12,5 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro	160,0	47 (-3 ; -8)
		2 ; 1				147,5	46 (-4 ; -10)
		1 ; 1				135,0	44 (-4 ; -9)
		0 ; 0				110,0	31 (-1 ; -5)
A7	3L105	2 ; 2	KNAUF® DF (A) 15,0 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 30 mm et BIOFIB® Ouate 45 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro TECSOUND® SY100 5 mm entre les plaques de KNAUF feutre de jute 5 mm	185,0	55 (-1 ; -5)
A8	5L190	2 ; 2	KNAUF® DF (A) 15,0 mm	Dans le panneau : BIOFIB® Ouate 45 mm et GUTEX® Thermoflex 30 et 40 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro ROTHOBLAAS® Xylofon 35 shore	250,0	58 (-2 ; -8)
A9	1L45 + 30 mm de cavité d'air + 1L45	2 ; 2	FERMACELL® Firepanel A1 Plaque 15 + 12,5 et 12,5 + 15 mm	Dans le panneau : BIOFIB® Ouate 45 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro	170,0	56 (-2 ; -8)
A10	5L180	2 ; 2	KNAUF® DF (GKF) 15 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm extérieur : ROCKWOOL® Rockfit premium 20 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro Les rails découplage : GYPROC® RB66	260,0	66 (-5 ; -12)
F1	5L180	1 ; 0	KNAUF® DF (A) 12,5 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm extérieur : ROCKWOOL® Coverrock II 120 mm + AGEPAN® THD 60 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro	372,5	43 (-4 ; -12)
F2	5L180	2 ; 1	KNAUF Fireboard 15 ; OSB3 18 mm	Dans le panneau : GUTEX® Thermoflex 40 et 30 mm extérieur : ROCKWOOL® Rocksono base 40 mm	Membrane : RIWEGA® USB Micro Les rails découplage : GYPROC® RB66 tasseau intérieur de 20 mm (épaisseur) tasseau de doublage 50 + 40 mm	358,0	66 (-7 ; -15)



13.2 Masse surfacique des Murs LEKO LABS

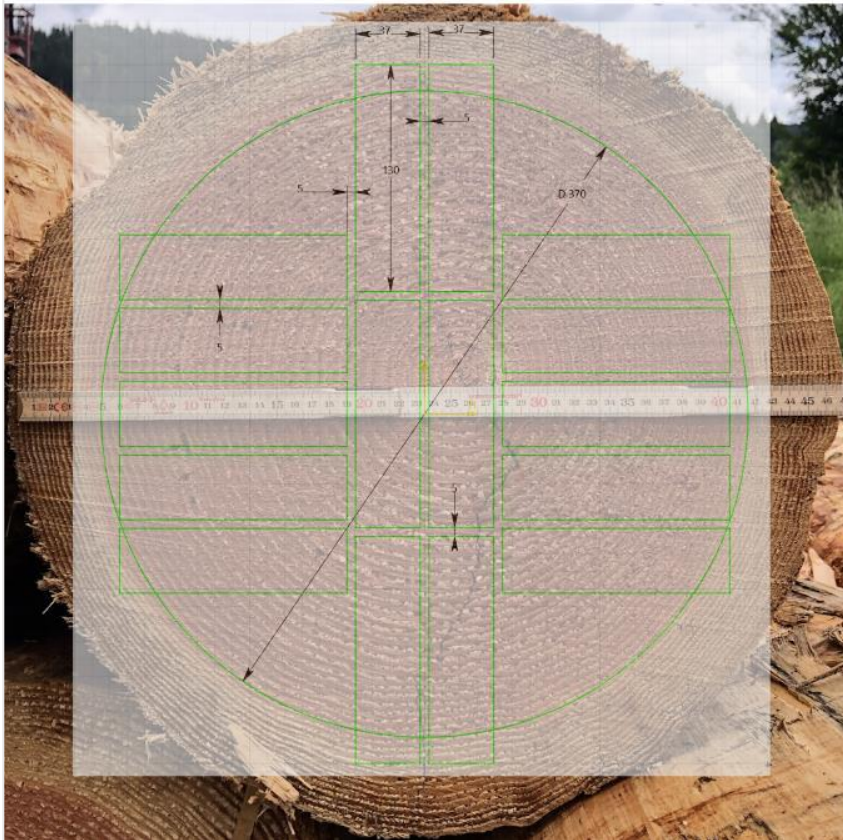
Parameters				Épaisseur [mm]						Masse surfacique [kg/m²]						
Plis	Pas horizontal et vertical [mm]	Wood species	Densité [kg/m³]	Montants	Traverses	LEKO only	+ 60-mm Agepan THD	+ 120-mm Thermowall	+ 12.5-mm Gyproc	Le bois seulement	Addition 1		Addition 2			
											+ isolation interne	+ 2x 12.5-mm Gyproc WallBoard	+ 60-mm Agepan THD et 1x Gyproc	+ 140-mm Thermowall	+ 12.5-mm Gyproc WallBoard	+ 12-mm pierre
3	720	Douglas	520	40	30	110	170	290	303	9.5	20	36	41	64	72	103
3	570	Douglas	520	40	30	110	170	290	303	12.0	22	38	43	66	74	105
3	420	Douglas	520	40	30	110	170	290	303	16.3	25	41	47	69	77	109
3	270	Douglas	520	40	30	110	170	290	303	25.4	32	48	54	76	84	116
5	720	Douglas	520	40	30	180	240	360	373	15.6	32	48	54	76	84	116
5	570	Douglas	520	40	30	180	240	360	373	19.7	35	51	57	80	88	119
5	420	Douglas	520	40	30	180	240	360	373	26.7	41	57	63	85	93	125
5	270	Douglas	520	40	30	180	240	360	373	41.6	53	69	74	97	105	136
7	720	Douglas	520	40	30	250	310	430	443	21.7	45	61	66	89	97	128
7	570	Douglas	520	40	30	250	310	430	443	27.4	49	65	71	93	101	133
7	420	Douglas	520	40	30	250	310	430	443	37.1	57	73	79	101	109	140
7	270	Douglas	520	40	30	250	310	430	443	57.8	73	89	95	117	125	157
3	720	Douglas	520	40	40	120	180	300	313	10.4	21	37	43	66	74	105
3	570	Douglas	520	40	40	120	180	300	313	13.1	24	40	45	68	76	107
3	420	Douglas	520	40	40	120	180	300	313	17.8	27	43	49	71	79	111
3	270	Douglas	520	40	40	120	180	300	313	27.7	35	51	57	79	87	119
5	720	Douglas	520	40	40	200	260	380	393	17.3	36	52	57	80	88	119
5	570	Douglas	520	40	40	200	260	380	393	21.9	39	55	61	83	91	123
5	420	Douglas	520	40	40	200	260	380	393	29.7	45	61	67	90	98	129
5	270	Douglas	520	40	40	200	260	380	393	46.2	58	74	80	103	111	142
7	720	Douglas	520	40	40	280	340	460	473	24.3	50	66	72	94	102	134
7	570	Douglas	520	40	40	280	340	460	473	30.7	55	71	77	99	107	139
7	420	Douglas	520	40	40	280	340	460	473	41.6	64	80	85	108	116	147
7	270	Douglas	520	40	40	280	340	460	473	64.7	82	98	104	126	134	165
3	720	Douglas	520	30	30	90	150	270	283	7.8	16	32	38	60	68	100
3	570	Douglas	520	30	30	90	150	270	283	9.9	18	34	39	62	70	101
3	420	Douglas	520	30	30	90	150	270	283	13.4	20	36	42	65	73	104
3	270	Douglas	520	30	30	90	150	270	283	20.8	26	42	48	71	79	110
5	720	Douglas	520	30	30	150	210	330	343	13.0	27	43	49	71	79	110
5	570	Douglas	520	30	30	150	210	330	343	16.4	29	45	51	74	82	113
5	420	Douglas	520	30	30	150	210	330	343	22.3	34	50	56	78	86	118
5	270	Douglas	520	30	30	150	210	330	343	34.7	44	60	66	88	96	127
7	720	Douglas	520	30	30	210	270	390	403	18.2	37	53	59	82	90	121
7	570	Douglas	520	30	30	210	270	390	403	23.0	41	57	63	85	93	125
7	420	Douglas	520	30	30	210	270	390	403	31.2	48	64	70	92	100	131
7	270	Douglas	520	30	30	210	270	390	403	48.5	61	77	83	106	114	145



13.3 Coupe des lamelles

diamètre du duramen = minimum 37 cm

coupe typique 1
petites lamelles : 16 pièces



coupe typique 2
grosses lamelles : 14 pièces

